

TREBALL FI DE GRAU

**Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica**

**SISTEMA DE GESTIÓ DOMÒTICA PER A OPTIMITZAR EL  
CONSUM ENERGÈTIC D'UN HABITATGE**



**Volum I**

**Memòria tècnica**

<b>Autors:</b>	Neus Boix Colomer i Sergi Claramonte Castillo
<b>Director:</b>	Manzanares Brotons, Manuel Andrés
<b>Departament:</b>	EEL
<b>Co-Director:</b>	Huerta Sánchez, José María
<b>Convocatòria:</b>	Juny 2017



## **Resum**

El present projecte mostra una completa definició de la domòtica, juntament amb el disseny, construcció i simulació d'un prototip de proves basat en una casa domotitzada. Per una banda, la casa domòtica s'ha dissenyat seguint uns paràmetres d'estalvi d'energia per fer-la el més eficient possible. Més enllà s'han instal·lat plaques fotovoltaïques i un sistema geotèrmic per fer la casa totalment autosuficient i renovable, disminuint així l'impacte mediambiental.

Pel que fa al prototip de proves (centralitzat des d'un microprocessador), representa a petita escala el funcionament dels components electrònics que hi hauria en la casa. El prototip comercial, seria la placa base que aniria a la instal·lació domòtica de l'habitatge.

A més a més, s'han realitzat càlculs dels consums en ambdós casos i l'estalvi energètic i econòmic que suposaria l'aplicació d'aquesta tecnologia i energies renovables en un habitatge.

Per acabar, en aquest treball, s'han intentat cobrir tots els aspectes possibles per fer de la casa, la millor per a viure-hi: consumint sols d'energia renovable (plaques fotovoltaïques) i reduint el consum a partir de l'energia geotèrmica (calefacció i refrigeració). Per part de la domòtica, s'aconsegueix una reducció en consum gràcies a l'automatització de la casa a partir de sensors i actuadors, millorant així tant la comoditat com la seguretat.

## Resumen

El presente proyecto muestra una completa definición de la domótica, junto con el diseño, construcción y simulación de un prototipo de pruebas basado en una casa domotizada. Por un lado, la casa domótica se ha diseñado siguiendo unos parámetros de ahorro de energía para hacerla lo más eficiente posible. Más allá se han instalado placas fotovoltaicas y un sistema geotérmico para hacer la casa totalmente autosuficiente y renovable, disminuyendo así el impacto medioambiental.

Por otra parte, el prototipo de pruebas (centralizado desde un microprocesador), representa a pequeña escala el funcionamiento de los componentes electrónicos que habría en la casa. El prototipo comercial, sería la placa base que iría en la instalación domótica de la vivienda.

Además, se han realizado cálculos de los consumos en ambos casos y el ahorro energético y económico que supondría la aplicación de esta tecnología y energías renovables en una vivienda.

Por último, en este trabajo, se han intentado cubrir todos los aspectos posibles para hacer de la casa, la mejor para vivir: consumiendo sólo de energía renovable (placas fotovoltaicas) y reduciendo el consumo a partir de la energía geotérmica (calefacción y refrigeración). Por parte de la domótica, se consigue una reducción en consumo gracias a la automatización de la casa a partir de sensores y actuadores, mejorando así tanto la comodidad como la seguridad.

## **Abstract**

This project shows a complete definition of domotics, together with the design, construction and simulation of a testing prototype based on a domotic house. On one hand, the automatized home has been designed following energy-saving parameters to make it as efficient as possible. Furthermore, photovoltaic panels and a geothermal system have been installed to make the house completely self-sufficient and renewable, thus reducing the environmental impact.

Moreover, the testing prototype (centralized from a microprocessor) represents in a small scale the operation of the electronic components that would be in the house. The commercial prototype is the motherboard that would go in the automatized home.

In addition, calculations have been made to figure out the consumption in both cases and the energy and economic savings resulting from the application of this technology and renewable energy in housing.

Finally, this project represents a trial to cover all possible aspects to make better our home quality life: consuming only renewable energy (photovoltaic panels) and reducing consumption from geothermal energy (heating and cooling). In the automating attempt, a reduction in consumption is achieved thanks to the domotic installation of the house from sensors and actuators, thus improving both comfort and safety.



## **Agraïments**

Agraïm la guia i els consells del nostre tutor de Treball de Fi de Grau, Manuel Andrés Manzanares Brotons, qui ens ha ajudat a estructurar els objectius d'aquesta investigació i a resoldre qualsevol dubte que ens sorgís, tant presencialment com virtualment.

Per altra banda, també agraïm l'ajuda i el temps del nostre segon tutor del Treball de Fi de Grau, José María Huerta Sánchez, qui ens ha pautat el control de temperatura d'aquest projecte.







# Índex

<b>RESUM</b>	<b>I</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>AGRAÏMENTS</b>	<b>V</b>
<b>1. INTRODUCCIÓ</b>	<b>11</b>
1.1. Objectius del treball	11
1.2. Abast del treball	11
<b>2. DOMÒTICA</b>	<b>13</b>
2.1. Definició	13
2.2. Evolució de la domòtica: des dels automatismes als sistemes de control intel·ligent	14
2.3. Avantatges	15
2.3.1. Eficiència energètica	16
2.4. Inconvenients	17
2.5. Característiques sol·licitades pels usuaris	18
<b>3. DISPOSITIUS DOMÒTICS</b>	<b>19</b>
3.1. Sensor	20
3.2. Actuador	21
3.3. Bus	22
3.4. Interfície	22
3.4.1. Passarel·la residencial	23
<b>4. CONNEXIONS, TRANSMISSIONS, QUALIFICACIÓ I ARQUITECTURA DE LES XARXES DOMÒTIQUES</b>	<b>25</b>
4.1. Connexions de les instal·lacions domòtiques	25
4.2. Mitjans de transmissió	25
4.3. Tecnologies de les xarxes domòtiques	27
4.3.1. Interconnexió dels dispositius	27
4.3.2. Xarxes de dades LAN	27
4.3.3. Protocol	27
4.4. Arquitectura: estructura de la xarxa d'un sistema domòtic	29

<b>5. ÀREES D'APLICACIÓ</b>	<b>31</b>
5.1. Seguretat.....	31
5.2. Estalvi energètic.....	32
5.3. Confort .....	33
5.4. Comunicacions.....	34
5.5. Programació de diferents escenaris .....	35
5.6. La domòtica a les estances de la llar .....	36
<b>6. ASSOCIACIONS I INSTITUTS DOMÒTICS</b>	<b>37</b>
<b>7. PROJECTE DOMÒTIC D'UN HABITATGE</b>	<b>39</b>
7.1. Situació de l'habitatge .....	40
7.2. Distribució de la llar .....	41
7.3. Elecció de sensors i actuadors de la llar .....	43
7.4. Elecció de components.....	47
7.5. Estalvi energètic amb la instal·lació domòtica .....	49
7.5.1. Cotxe elèctric.....	50
7.6. Energies renovables.....	51
7.6.1. Energia solar.....	51
7.6.2. Energia geotèrmica .....	57
7.7. Consum total de l'habitatge .....	60
<b>8. PROTOTIP DE PROVES</b>	<b>61</b>
8.1. Components i càlculs .....	61
8.2. Consum placa.....	77
<b>9. PROGRAMA (SOFTWARE)</b>	<b>79</b>
9.1. Programa i PIC.....	87
9.2. Bluetooth .....	90
<b>10. CONTROL DE TEMPERATURA</b>	<b>92</b>
10.1. Simulació principal.....	100
10.2. Simulació amb control PID .....	104
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>113</b>
<b>MILLORES DE DISSENY</b>	<b>114</b>
<b>NORMATIVA</b>	<b>115</b>

---

<b>PLANIFICACIÓ I DIAGRAMA DE GANTT</b>	<b>116</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>117</b>

---



# 1. Introducció

La humanitat ha anat desenvolupant i adaptant els avenços tecnològics per la seva llar. Els motius d'aquesta evolució han anat variant amb el temps i, si en un principi el que es pretenia era augmentar la seguretat i fer que l'habitatge sigui un lloc més confortable, últimament també s'ha pretès l'estalvi energètic, així com la millora en la salut i la higiene dels usuaris.

## 1.1. Objectius del treball

Avui dia la domòtica ha proporcionat una modernització, confort i estalvi en qualsevol escenari quotidià. En aquest document es pretén demostrar el gran ventall del que consta aquesta tecnologia innovadora, realitzant un estudi econòmic i energètic del que suposaria aplicar-la en una llar.

## 1.2. Abast del treball

Aquest treball es pot dividir en tres grans blocs: part teòrica, prototip comercial i de proves. En la part teòrica s'ha fet un estudi extens de la domòtica, tant els seus orígens com la seva arquitectura, connexions, normativa i dispositius que la formen.

Pel que fa al prototip comercial, s'ha creat un escenari d'un habitatge en el qual s'han situat certs dispositius domòtics i se n'ha fet un estudi econòmic i energètic. Per altra banda s'ha decidit instal·lar equips renovables per fer la llar totalment autosuficient. Es creu que per un estalvi energètic, també pot influir l'aportació d'aquesta i l'impacte mediambiental que pot provocar. Dins d'aquest, s'ha volgut fer un control de temperatura aplicable a una habitació de 48 m<sup>2</sup>.

Finalment, el prototip de proves té l'objectiu de representar de manera més visual el que seria un sistema domòtic en una llar, amb els seus components escollits segons el que s'ha considerat de més utilitat i de confort.



## 2. Domòtica

### 2.1. Definició

El terme de domòtica prové de la paraula llatina *domus*, que significa casa, i del terme informàtica o robòtica, com consideren alguns autors

Segons l'Associació Espanyola de Domòtica (CEDOM), la domòtica significa la incorporació a un edifici o habitatge d'una senzilla tecnologia que permeti gestionar, de manera eficient, segura i confortable per a l'usuari, tots els aparells i instal·lacions que conformen aquest habitatge.



**Figura 1.** Sistema domòtic bàsic per un habitatge (Font: <http://blog.123presupuestos.es/domotica-en-tu-vivienda/>)

Es pot definir, també, com l'aplicació d'automatismes programats que controlen i activen unes funcions determinades d'uns aparells i sistemes elèctrics i electrotècnics instal·lats als habitatges amb la finalitat de millorar-ne la gestió energètica i la qualitat de vida dels seus usuaris, tant pel que fa a la seguretat com al confort. Aquesta tasca s'aconsegueix mitjançant la programació d'uns dispositius que reben, transmeten i processen la informació que l'usuari sol·licita i són controlats de forma centralitzada i/o remota, entre d'altres. Les funcions programades d'aquests dispositius solen ser les d'encendre o apagar, d'activar o desactivar, d'obertura o tancament i també de regulació d'alguna funció. Així doncs, es pot afirmar que la domòtica fa més versàtil la distribució d'un habitatge o edifici, canvia les condicions ambientals creant diferents escenes predeterminades, aconsegueix que l'habitatge sigui més funcional, al permetre desenvolupar facetes domèstiques, professionals i/o d'oci sota un mateix sostre i, per tant, contribueix a augmentar la qualitat de vida de les persones que en gaudeixen.

L'aplicació de la domòtica al sector terciari o industrial –oficines i edificis corporatius, empresarials i similars–, és a dir, un edifici no residencial, rep el nom de inmòtica. Per definició, la inmòtica es basa en la incorporació de sistemes de gestió tècnica automatitzada a les instal·lacions de tipus industrial amb l'objectiu de ser productivament més eficient, és a dir, reduir el consum d'energia, augmentar el confort i la seguretat i prevenir desperfectes al lloc on s'instal·li.

## 2.2. Evolució de la domòtica: des dels automatismes als sistemes de control intel·ligent

L'origen de la domòtica es remunta a l'any 1975, a Glenrothes (Escòcia), on l'empresa Pico Electronic va desenvolupar la primera tecnologia domòtica: la X-10. Aquesta tecnologia pretenia el control remot d'aparells i aplicacions i, degut al baix cost dels seus components, encara és una de les aplicacions més utilitzades a nivell mundial.



**Figura 2.** Exemple d'aplicacions domòtiques en la llar (Font: <https://www.econergia.es/ejemplo-integracion-la-domotica-una-vivienda-unifamiliar/>)

Els primers sistemes domòtics comercials de la dècada dels 80 es limitaven a regular la temperatura ambient de les oficines. Aquests automatismes, destinats als edificis terciaris o comercials, es van començar a aplicar als habitatges particulars a mitjans dels 90. Durant els anys següents es va manifestar un creixent interès per a la "llar ideal" i es van començar assajos amb electrodomèstics i dispositius automàtics pels habitatges, afavorint la seva interconnexió. A partir d'aquesta dècada tenen lloc les primeres iniciatives per promocionar i augmentar els coneixements i beneficis de la tecnologia domòtica i en aquests moments el mercat de les tecnologies domòtiques presenta nombroses alternatives amb altres amplituds de banda que l'originària X-10, com són: KNX, LonkWorks, etc..

El ritme de vida actual ha provocat un fenomen cultural sense precedents i ens trobem immersos en la societat de la informació i de les comunicacions, que, amb la seva ràpida evolució tecnològica, han inundat el nostre entorn amb dispositius que cada cop ofereixen més funcions. Per tal de donar resposta als requeriments que plantegen les noves tendències i necessitats, la tecnologia domòtica s'ha anat adaptant de forma flexible i ràpida creant els espais adequats per aconseguir-ho. D'aquesta manera i per poder accedir als serveis i xarxes de comunicacions i entreteniments i a la gestió digital de l'habitatge, les instal·lacions de domòtica han evolucionat cap a la unificació dels elements que les componen, en una única xarxa de comandament, creant el que s'anomena llar o edifici digital, o també intel·ligent.

Impulsat, doncs, per l'evolució tecnològica, els canvis socials i les oportunitats de negoci, el mercat domòtic presenta una àmplia oferta que afavoreix la utilització dels seus sistemes de forma cada cop més intuïtiva i manejable per part dels usuaris.



## 2.3. Avantatges

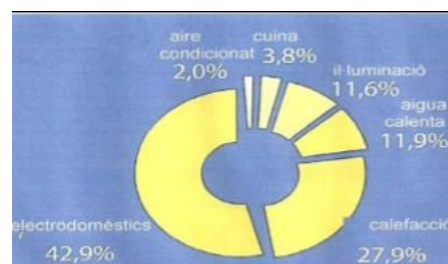
Tal com s'ha descrit, la domòtica contribueix a millorar la qualitat de vida de l'usuari mitjançant es avantatges que ofereix, que en general són les de:

- **Facilitar l'estalvi energètic i ajudar a optimitzar els recursos naturals** gestionant intel·ligentment la il·luminació, la climatització, la utilització de l'aigua ja sigui per l'aigua calenta sanitària o pel reg o pels electrodomèstics aprofitant millor els recursos naturals o renovables com són les energies solar, geotèrmica i eòlica. A més a més, mitjançant la monitorització de consums, es pot obtenir la informació necessària per modificar els hàbits i augmentar l'estalvi i l'eficiència.
- **Millorar la seguretat de persones, animals i béns** mitjançant la seguretat activa i passiva de la llar, com seria la vigilància a distància de l'edifici (sense violar la intimitat dels usuaris) o també, en cas d'alarma per intrusió, la central d'alarmes rebria l'avís i s'activaria el protocol que calgués. Una altra opció de seguretat que ofereixen els sistemes domòtics és la utilització d'alarmes tècniques que permeten detectar incendis, fuites de gas o inundacions d'aigua i que activen el tall del subministrament corresponent.
- **Garantir les comunicacions i la recepció d'avisos d'anomalies**, així com la informació del funcionament d'equips i instal·lacions, com també la gestió remota de la llar.
- **Incrementar el confort dels usuaris**: alliberant-los de les tasques repetitives, com per exemple: encendre llums amb comandaments a distància, tancar i obrir persianes de forma centralitzada, etc. També, ajudant a activar, per exemple, a través d'una trucada telefònica, la calefacció o l'aire condicionat el temps convenient abans que s'arribi a l'habitatge, per tal que tingui la temperatura adequada. Una altra acció pot ser la d'activar la neteja automàtica de la piscina o bé el rec automàtic de l'hort o del jardí.
- **Fomentar l'accés i facilitar el maneig** dels elements de la llar a les persones amb discapacitats o invalideses de la manera que més s'ajusti a les seves necessitats, a més d'oferir serveis de teleassistència per aquells que ho necessitin. La domòtica, doncs, resulta especialment convenient per afavorir l'autonomia personal dels seus usuaris.

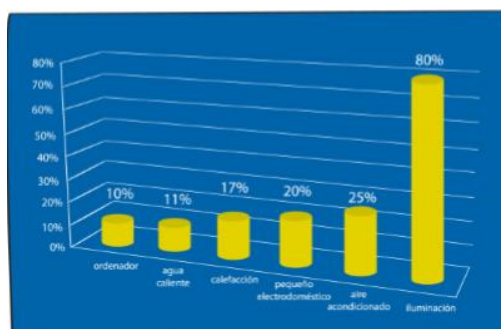
### 2.3.1. Eficiència energètica

Tal com s'ha mencionat, una de les avantatges que ofereix la tecnologia domòtica és la eficiència energètica dels habitatges on s'instal·la, permetent la utilització dels recursos naturals de manera més eficient i sostenible. Les llars de l'estat espanyol consumeixen una gran quantitat d'aigua i d'energia. L'estalvi en el consum domèstic combinat amb la gestió de la demanda pot influir molt positivament en la sostenibilitat dels recursos. Actualment les llars, a Espanya, consumeixen aproximadament un total del 18% de l'energia del país i produeixen l'emissió d'unes cinc tones anuals de CO<sub>2</sub>, provocant l'efecte hivernacle.

Per tenir una idea aproximada i suposant que tot el consum energètic es faci mitjançant l'electricitat, la distribució del consum elèctric d'una llar es sol distribuir de la següent manera:



**Figura 3.** Distribució del consum elèctric d'una llar (Font: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)



**Figura 4.** Estalvi elèctric anual (Font: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)

Aquest gràfic mostra l'estalvi elèctric anual que s'obté després d'haver instal·lat un sistema domòtic en un habitatge de 130m<sup>2</sup>. Per tant, el fet que en un primer moment la instal·lació domòtica resulta cara pot quedar compensat per l'estalvi energètic que representaria al llarg del temps.

Una altra forma de reduir el consum energètic és la de construir estructures arquitectòniques que s'adaptin a les condicions climàtiques de cada indret. L'arquitectura bioclimàtica tracta de fixar-se en aquests aspectes i intenta integrar-los amb els coneixements científics del present, per adaptar-se a les necessitats d'avui en dia. Des del punt de vista energètic, l'arquitectura bioclimàtica tendeix a l'ús d'energies passives mitjançant la millora de l'aïllament del fred i la calor i a través de l'orientació, obertura i tancament de finestres, en funció de la temperatura interior i exterior. Aquestes tècniques resulten més convenientes que l'ús d'energia per escalfar o per refredar la casa i permeten reduir considerablement les necessitats de calefacció i aire condicionat.

## 2.4. Inconvenients

Es presenten, seguidament, possibles inconvenients que poden sorgir amb la instal·lació de la tecnologia domòtica en un habitatge:

- Habitualment els sistemes domòtics solen tenir un **cost elevat** tant en la instal·lació com en el seu posterior manteniment i, depenent de cada projecte, es poden començar a amortitzar en uns cinc anys.
- La mateixa evolució tecnològica pot fer témer a l'usuari que els sistemes domòtics instal·lats puguin **quedar obsolets** en pocs anys.
- Alguns sistemes domòtics són **complexos** i els usuaris poden considerar difícil la seva utilització.
- Els clients dels productes domòtics poden tenir cert recel per la **pèrdua d'intimitat** degut al control que s'esdevé a causa d'alguns dels serveis que es sol·liciten.
- En cas que es produeixin **averies o talls elèctrics**, que es perllonguessin excessivament, i si les instal·lacions domòtiques no comptessin amb un sistema d'alimentació ininterrompuda (SAI) o bateries, els usuaris podrien tenir problemes més o menys greu.

## 2.5. Característiques sol·licitades pels usuaris

Alguns dels aspectes que els usuaris solen demanar dels sistemes domòtics que sol·liciten són:

- Que el sistema domòtic sigui **fàcil d'utilitzar** i d'entendre per part dels diferents usuaris.
- Que l'usuari tingui un **servei de manteniment** que li asseguri el funcionament òptim del producte.
- Que sigui factible la possibilitat **d'ampliar la capacitat de prestacions i d'implementar noves aplicacions** al sistema domòtic ja existent, és a dir, que sigui compatible amb altres i nous sistemes.
- Que, segons l'exigència de l'usuari, el sistema domòtic **pugui quedar integrat dins de la resta de les instal·lacions de l'habitatge**.

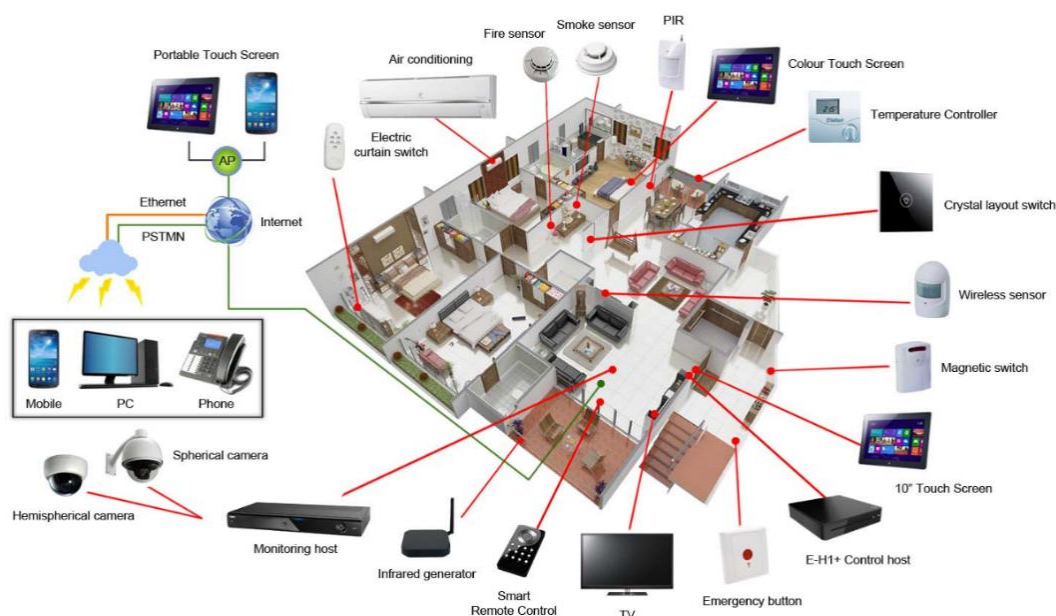
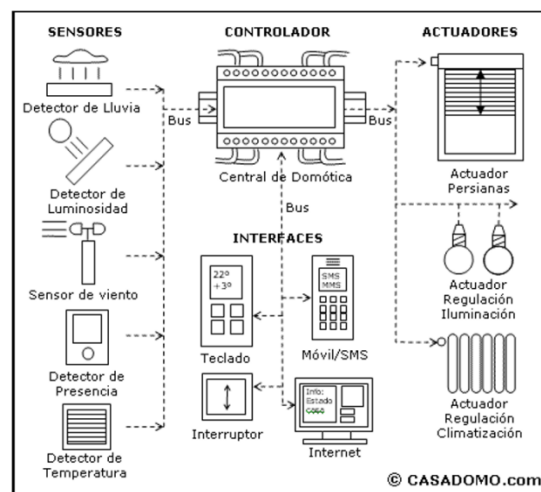


Figura 5. Demanda dels usuaris en el caire domòtic (Font: <http://geek-mag.com/companies/iridiummobile/>)

### 3. Dispositius domòtics

Les instal·lacions domòtiques s'han desenvolupat gràcies al gran avenç en les tecnologies de la informació i la comunicació. Segons les necessitats dels usuaris, les solucions domòtiques poden variar des d'un únic dispositiu, que podria realitzar una sola acció, fins a sistemes amplis, que controlen pràcticament totes les instal·lacions d'un habitatge.

En aquesta imatge, facilitada per Casadomo, es mostren diversos dispositius que formen part d'un sistema de domòtica i la relació que hi ha entre ells:



**Figura 6.** Dispositius i la seva relació en un sistema domòtic (Font: <http://contract.bandalux.es/ui-bioclimatic.php>)

Els diferents dispositius dels sistemes domòtics es poden classificar segons els següents grups: sensor, actuator, bus, interfície i passarel·la residencial.

A continuació s'expliquen aquests instruments i es presenten les diferents modalitats que ofereix el mercat domòtic.

### 3.1. Sensor

El sensor, també anomenat captador, entrada o input, és el dispositiu que monitoritza l'entorn captant informació que transmet al sistema, és a dir, detecta manifestacions de qualitat o de fenòmens físics o químics i converteix aquestes en un canvi de variables.

Existeixen dos grups de sensors: els digitals i els analògics. Els sensors digitals envien senyals que admeten només dos valors: '0' o '1'. El seu funcionament és similar al d'un interruptor de la llum, que únicament pot estar encès o apagat. Per altra banda, els sensors analògics, contràriament, envien senyals que poden prendre un conjunt continu o discontinu de valors. A continuació es mostren diferents sensors que es poden instal·lar:

- **Sensors d'accionament manual:** com aquest mecanisme amb quatre polsadors (dues tecles) que funciona per infrarojos (de la marca Siemens).
- **Termòstat:** per a mesurar la temperatura en una determinada ubicació: Termòstat de roda (Siemens).
- **Sensors magnètics:** per a detectar obertura i tancament de portes i finestres. Sensor magnètic de Seca-Larm.
- **Detector de gas:** per evitar riscos per explosió. Detector de gas natural(SF Detection).
- **Detector de fum:** per proporcionar seguretat contra incendis. Detector de fum alimentat amb bateria (Siemens).
- **Detectors d'inundació:** mitjançant sondes d'humitat que detecten possibles escapaments d'aigua. Esquema de detector d'inundació (Simon).
- **Sensors de presència (volumètrics) i moviment:** s'utilitzen per la detecció de la presència d'una persona i en alguna ocasió d'animals.



## 3.2. Actuator

També denominat sortida o output, és un dispositiu capaç d'executar i/o rebre una ordre del controlador i realitzar una acció sobre un aparell o sistema; per tant, modifica l'estat d'un equip domòtic.

Els actuadors solen ser relés i electrovàlvules. Les ordres que executen aquests elements són: encendre o apagar, apujar o abaixar i obertura o tancament, entre d'altres.

Tot seguit s'esmenten els principals àmbits on s'utilitzen aquests actuadors:

- En el **control de la il·luminació**: mitjançant làmpades incandescentes, fluorescents o de Led.
- En el **control de fluids, tant de líquids com de gasos**: a través d'electrovàlvules (TimmerPneumatik i CEME).
- En el **control de persianes i tendals**: permet la domòtica una millora considerable de l'eficiència energètica de la llar, al minimitzar les necessitats de calefacció i aire condicionat. Motors de persiana de GaviotaSimbac.
- Per als **dispositius d'avís**: en domòtica s'utilitzen diversos dispositius acústics o lluminosos que s'activen mitjançant un senyal exterior. Alarma d'incendis.

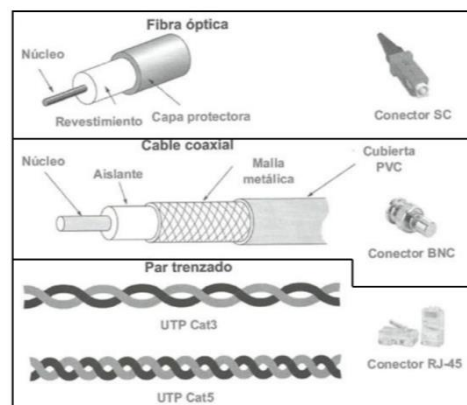


### 3.3. Bus

És el mitjà de transmissió que transporta la informació entre els diferents dispositius a través d'un cablejat que pot ser:

- **Cablejat propi:** La transmissió per un cablejat propi és el mitjà més comú per als sistemes de domòtica, principalment són del tipus:

- **Fibra òptica**
- **Coaxial**
- **Parell trenat**



**Figura 7.** Diferents tipus de cablejat propi (Font: pròpia)

- **Cablejat compartit:** Hi ha sistemes domòtics que utilitzen cablejats compartits i/o xarxes existents per a la transmissió de la informació, per exemple, a través de la: xarxa elèctrica, xarxa telefònica o xarxa de dades.
- **De forma inalàmbrica:** molts sistemes de domòtica utilitzen solucions de transmissió inalàmbrica entre els diferents dispositius, principalment les tecnologies de radiofreqüència o d'infrarojos.

### 3.4. Interfície

Els controladors o interfícies són els dispositius que gestionen el sistema segons la programació i la informació que reben. Hi pot haver un sol controlador o diversos distribuïts pel sistema. Mitjançant aquests dispositius, els usuaris poden interactuar amb el sistema, és a dir, donar ordres d'encendre, apagar o regular la il·luminació, crear escenes per a diverses situacions, controlar l'estat de persianes i actuar sobre elles segons calgui, etc.

La interfície pot estar situada dins de casa o bé es pot accedir a ella a través de diferents mitjans com són: pantalles tàctils, comandaments a distància, controls remots o per via telefònica (activant les funcions per veu o missatges de mòbil). En resum, aquests dispositius permeten més flexibilitat per accedir al control de les funcions domòtiques d'un edifici i la seva prioritat és la de ser fàcils d'utilitzar.

En la figura 8 s'observen les diferents interfícies que poden ser al servei de la domòtica.





**Figura 8.** Interfícies al servei de la domòtica (Font: <http://www.inproav.com/portfolio-items/vantage/>)

Altres interfícies que es poden utilitzar són aquelles que s'activen mitjançant claus digitals, targetes d'accés o bé per reconeixement a través d'un lector de empremta dactilar, d'un escàner de retina o del iris, de la geometria de la mà o de la veu. Encara que el seu ús sol limitar-se a les empreses, alguns d'aquests també es poden utilitzar a la llar.



Clau digital

Tarjeta d'accés

Lector dactilar

Escàner ocular

Escàner manual

Accionament per la veu

### 3.4.1. Passarel·la residencial

És una de les principals interfícies que requereix un edifici domòtic, ja que permet la comunicació i l'enviament de la informació des d'una xarxa de dades exterior cap als sistemes domòtics instal·lats en un edifici; per tant, actua com a nexa d'unió entre les xarxes d'accés, és a dir, les infraestructures de telecomunicacions públiques i les xarxes internes d'un edifici.

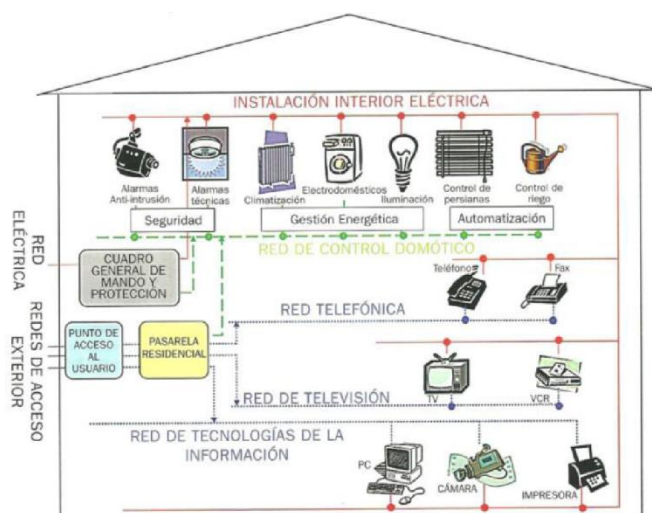
Les passarel·les residencials han de ser d'instal·lació senzilla, ser capaces de carregar i actualitzar el seu software de manera remota, proporcionar suport per diverses xarxes internes i externes i ser segures, tant en l'accés a elles com en la informació que envien a través d'Internet.

Les funcions d'aquesta interfície són realitzades a través dels *routers* o mòdems ADSL o bé també mitjançant les passarel·les residencials OSGi (Open Services Gatewayinitiative), entre d'altres.



**Figura 9.** Exemples de passarel·les residencials (Font: <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/dispositivosviviendadomotica.php>)

Aquest esquema, obtingut de la *Guía BT-51 (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión)*, mostra la connexió de la passarel·la residencial amb la xarxa domòtica d'un habitatge.



**Figura 10.** Connexió passarel·la residencial xarxa domòtica d'un habitatge (Font: <http://www.electricasas.com/instalaciones/instalaciones-domoticas/>)

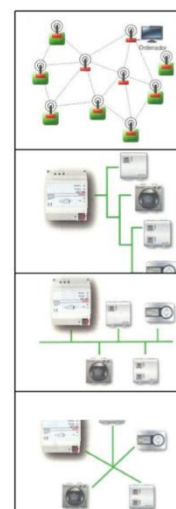
## 4. Connexions, transmissions, qualificació i arquitectura de les xarxes domòtiques

Seguidament s'expliquen les diferents connexions, transmissions, classificacions de les xarxes domòtiques, així com l'arquitectura que es pot utilitzar en les instal·lacions d'aquesta tecnologia.

### 4.1. Connexions de les instal·lacions domòtiques

Els dispositius d'una xarxa domòtica es poden connectar de diverses formes:

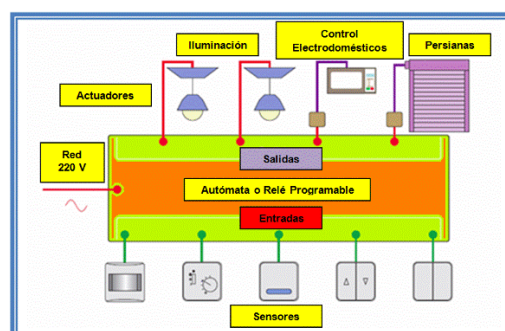
- **En malla:** cada dispositiu es connecta amb tots de manera que les dades poden viatjar del dispositiu font al destí, seguint diferents rutes.
- **En arbre:** els dispositius s'organitzen jeràrquicament, a través d'acobladors.
- **En línia:** cada dispositiu compta amb un cable de poca longitud que el connecta amb una línia troncal.
- **En estrella:** els canals de transmissió de tots els dispositius estan connectats entre sí en un punt central.



### 4.2. Mitjans de transmissió

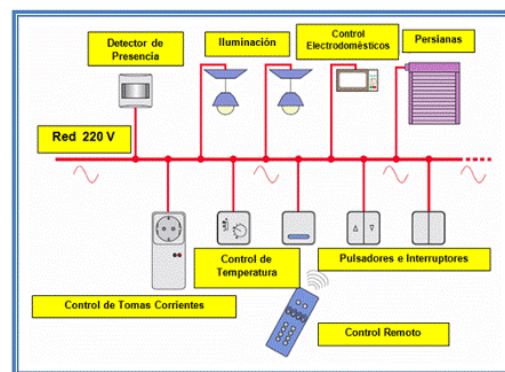
Segons el mitjà de transmissió utilitzat, les instal·lacions domòtiques poden classificar-se en les següents categories:

- **Sistemes que utilitzen autòmats o relés programables,** on uns dispositius connecten entrades (sensores) i sortides (actuadors) seguint un programa lògic o esquema de contactes gravat en la seva memòria. Es tracta d'un sistema centralitzat.



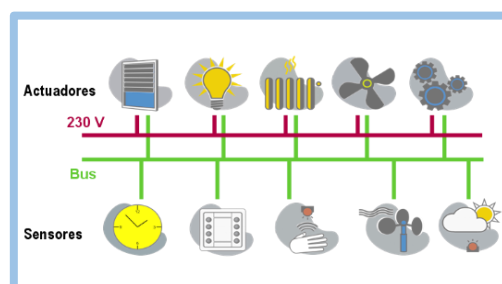
**Figura 11.** Esquema d'autòmats i relés amb les seves entrades i sortides (Font: [http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/sistemadecontrolaplicaciones/index%20aplicacionesdelossistemasdecontrol\\_archivos/Page351.htm](http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/sistemadecontrolaplicaciones/index%20aplicacionesdelossistemasdecontrol_archivos/Page351.htm))

- **Sistemes per corrents portadores** que utilitzen el cablejat elèctric de 230 V de la llar per transmetre les senyals domòtiques. Aquest tipus de protocol és emprat principalment pel sistema X10.



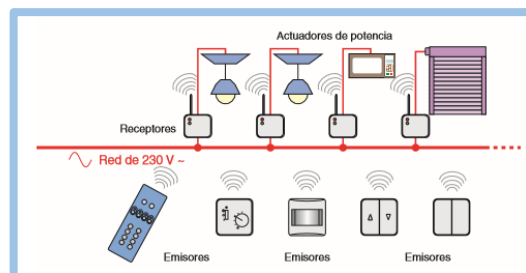
**Figura 12.** Esquema de corrents portadores amb les seves entrades i sortides (Font: [http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/sistemadecontrolaplicaciones/index%20aplicacionesdelossistemasdecontrol\\_archivos/Page351.htm](http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/sistemadecontrolaplicaciones/index%20aplicacionesdelossistemasdecontrol_archivos/Page351.htm))

- **Sistemes amb bus de camp**, on la comunicació s'estableix mitjançant un cablejat específic (bus) que comunica tots els models de la instal·lació, proporcionant-los a més a més l'alimentació elèctrica. Els dos sistemes més populars que utilitzen aquest medi de transmissió són el KNX i el LON Works.



**Figura 13.** Esquema de bus de camp i la relació amb els sensors i actuadors de la instal·lació (Font: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1637/1/T-UCSG-PRE-TEC-IECA-9.pdf>)

- **Sistemes sense fils**, en els quals els modes es comuniquen entre sí sense necessitat de connexió per cable. Aquests sistemes utilitzen ones electromagnètiques de diverses freqüències: radiofreqüència (RF) i infrarojos (IR). Els protocols X10 i el KNX implementen aquesta tecnologia.



**Figura 14.** Sistema sense fils i la relació entre els sensors i actuadors de la instal·lació. (Font: <http://instalacioneselectricasparatodos.blogspot.com.es/2016/11/sistemas-domoticos.html>)

En realitat, la tecnologia domòtica tendeix cada vegada més a crear **sistemes híbrids** en els quals conflueixen uns quants dels tipus d'abans esmentats: per exemple, molts sistemes de bus o corrents portadores inclouen sensors de radiofreqüència, existeixen passarel·les que comuniquen els PLC amb sistemes de bus KNX, etc.

### 4.3. Tecnologies de les xarxes domòtiques

Els sistemes domòtics han provocat l'aparició d'una sèrie de tecnologies, alguns d'ús específic per a les llars i altres heretats de l'entorn empresarial.

A continuació es mostren dues taules detallant cadascuna de les característiques dels sistemes d'interconnexió i les xarxes de dades LAN.

#### 4.3.1. Interconnexió dels dispositius

PRINCIPALS FORMES DE INTERCONNEIXIÓ DE DISPOSITIUS					
<i>Tecnologia (any creació)</i>	<i>Mitjà de transmissió</i>	<i>Velocitat de transmissió</i>	<i>Distància màxima al dispositiu (m)</i>	<i>Avantatges</i>	<i>Inconvenients</i>
<b>FireWire IEEE 1394 (1994)</b>	UTP/FO (nou cablejat)	400 Mbps 3.2 Gbps	4,5-70	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gran amplitud de banda.</li> <li>Ampli suport amb els sistemes d'última generació.</li> <li>Ideal per aplicacions de vídeo digital.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Necessita un cable per dispositiu.</li> <li>Tecnologia cara en relació a les prestacions.</li> </ul>
<b>USB (1995)</b>	USB (nou cablejat)	12 Mbps 480 Mbps	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muntatge i configuració senzilles.</li> <li>Ideal per connectar tot tipus de dispositius a un PC.</li> <li>Tecnologia assequible en quant a preu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Distància entre dispositius limitada.</li> <li>Necessita d'un host que controli la connexió.</li> </ul>
<b>Bluetooth (1994)</b>	Sense fils	1 Mbps 10 Mbps	10-100	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inexistència de cablejat.</li> <li>Baix consum de corrent elèctric.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Configuració i posada en marxa.</li> <li>Cost.</li> </ul>
<b>IRDA (infrarojos) (1993)</b>	Sense fils	9600 bps 4 Mbps	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tecnologia molt estesa.</li> <li>Fàcil implementació i ús.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Punt d'accés per estança.</li> <li>Velocitat baixa.</li> </ul>

Taula 1. Principals formes de interconnexió de dispositius (Font: Llibres amb ISBN: 84-283-2891-9; ISBN: 978-84-92779-37-6; ISBN: 978-84-9732-858-6)

#### 4.3.2. Xarxes de dades LAN

Rep el nom de xarxa de dades LAN (*Local Area Network*) aquella xarxa que correspon a una àrea local, això és, aquella que connecta una sèrie d'ordinadors dintre d'una àrea determinada.

PRINCIPALS XARXES DE DADES LAN					
<i>Tecnologia (any creació)</i>	<i>Mitjà de transmissió</i>	<i>Velocitat de transmissió (segons versió)</i>	<i>Distància màxima al dispositiu</i>	<i>Avantatges</i>	<i>Inconvenients</i>
<b>Ethernet (1972)</b>	UTP/FO (nou cablejat)	100 Mbps 1 Gbps	100 m fins a 15 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tecnologia de xarxa més ràpida.</li> <li>Molt segura.</li> <li>Fàcil de mantenir després d'instal·lar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pot resultar costós pel cablejat i els dispositius.</li> <li>La configuració i posada en marxa pot ser complexa.</li> </ul>
<b>HomePlug (2000)</b>	Cable elèctric (cablejat existent)	14 Mbps	650 m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cost d'implantació baix.</li> <li>Absència de cablejat addicional.</li> <li>Extensa amplada de banda.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oferta limitada de productes.</li> </ul>
<b>HomePNA (1984)</b>	Línia Telefònica (cablejat existent)	10 Mbps	304,8 m 929 m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instal·lació fàcil i econòmica.</li> <li>No requereix equips de xarxa.</li> <li>Velocitat acceptable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Velocitat limitada segons aplicacions.</li> <li>Sorolls.</li> </ul>
<b>Wi-Fi (1999)</b>	Sense fils WLAN 802.11n (últim estàndard)	125-300 Mbps	100 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>Comoditat i menor cost que els sistemes amb cablejat.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menor velocitat que sistemes amb cablejat.</li> <li>En cas que no compti amb una protecció pot resultar un mitjà insegur.</li> <li>No és compatible amb Ethernet.</li> </ul>

Taula 2. Principals xarxes de dades LAN (Font: Llibres amb ISBN: 84-283-2891-9; ISBN: 978-84-92779-37-6; ISBN: 978-84-9732-858-6)

#### 4.3.3. Protocol

És una xarxa de control que possibilita la comunicació entre els sensors i els actuadors. Cada protocol utilitza unes regles de comunicació determinades.

De totes formes, existeixen una gran varietat de protocols, alguns específicament desenvolupats per a la domòtica i altres protocols tenen el seu origen en altres sectors, però adaptats per a la domòtica. Els protocols poden ser del tipus:

- **Estàndard obert:** sistemes d'ús lliure per a tothom, és a dir, no existeixen patents sobre aquests protocols i, qualsevol fabricant podria desenvolupar aplicacions i productes a partir d'aquests. El protocol estàndard obert és definit entre diferents companyies per tal d'unificar criteris. Els protocols estàndards per les aplicacions domòtiques més estesos en l'actualitat són: KNX, LonWorks i X-10.
- **Estàndard sota llicència** o obert per a tothom sota llicència: Toshiba i Cypress.
- **Propietaris o tancats:** són protocols específics d'una marca en particular i corresponen a l'ús exclusiu del fabricant. Crestron es una de les marques que ofereix aquests productes.

A continuació es presenta una taula que mostra les característiques dels principals protocols que s'utilitzen en domòtica:

PRINCIPALS PROTOCOLS O XARXES DE CONTROL									
Tecnologia (any construcció)	Entitat associada	Promotor	País	Àmbit d'aplicació	Mitjà de transmissió	Velocitat de transmissió (segons versió)	Distància màxima al dispositiu	Avantatges	Inconvenients
<b>Konnex (KNX)</b> (1999)	Batibus	Merlin Gerin	França	Europa	1. TPO (cable parell) 2. TP1 3. Cable elèctric (PL 100) 4. Ethernet 5. Ràdio (RD) 6. Infrarojos 7. KNXnet/IP 8. Cable fibra òptica	1. 4800 bps 2. 9600 bps 3. 1200/2400 bps 4. 10/100 Mbps 5. 16.384 kbps	1. 200-1500 m 2. 1000 m 3. 600 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema descentralitzat que en cas d'averia puntual no afecta al conjunt.</li> <li>• Versàtil.</li> <li>• Escalable (s'hi poden afegir més productes o ampliar funcions).</li> <li>• Obert (més de 100 fabricants diferents són compatibles amb ell).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La velocitat és inferior que al protocol LonWorks.</li> </ul>
	EIB	Siemens	Alemanya	Europa	9. Cable elèctric (PL 1325)	9. 2400 bps	9. llarga distància		
	EHS	Comissió Europea	Unió Europea	Europa					
<b>LonWorks</b> (1990)		Echelon	EUA	Mundial	1. TP 2. Cable elèctric 3. Ràdio (RD) 4. Coaxial 5. Infrarojos	1. 78 Kbps – 1.28 Mbps 2. 5,4 Kbps	1.500 – 2.700 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La velocitat de transmissió és molt elevada.</li> <li>• Sistema fiable i robust.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• És incompatible amb dispositius d'altres fabricants.</li> <li>• És més car (s'ha de pagar un royalty).</li> </ul>
<b>X-10</b> (1976)		Pico Electronics Ltd.	Regne Unit	Mundial	Cable elèctric	60 bps als EUA 50 bps a Europa	185 m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instal·lació no complexa i de codi obert.</li> <li>• S'hi poden afegir fàcilment més productes.</li> <li>• Preus molt assequibles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La comunicació no és tan instantània com en altres tecnologies (tarda 1,5 seg).</li> <li>• No permet funcions complexes.</li> <li>• Pot experimentar interferències.</li> </ul>
<b>CEbus</b> (1992)		Associació d'indústries electròniques (EIA)	EUA	EUA	1. TP 2. Cable elèctric 3. Ràdio (RD) 4. Coaxial 5. Infrarojos	10 Kbps (segons mitjà)	Segons el mitjà	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protocol obert.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pocs productes.</li> <li>• Preus elevats.</li> </ul>
<b>ZigBee</b> (1998)	Sorgeix de HomeRF	Format per diverses entitats com Philips, Motorola, Mitsubishi, ...	Diferents països	Mundial	Sense fils	20 – 250 Kbps	10 – 75 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Circuits de baix cost i consum.</li> <li>• Productes de fàcil integració.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa taxa de transferència de dades.</li> <li>• Menor cobertura i compatibilitat amb altres productes.</li> </ul>

**Taula 3.** Característiques dels principals protocols que s'utilitzen en la domòtica (Font: Llibres amb ISBN: 84-283-2891-9; ISBN: 978-84-92779-37-6; ISBN: 978-84-9732-858-6; ISBN: 978-84-8322-383-3)

## 4.4. Arquitectura: estructura de la xarxa d'un sistema domòtic

L'Arquitectura d'una instal·lació domòtica es pot classificar segons on resideixi la intel·ligència del sistema domòtic. Les principals arquitectures domòtiques són:

- **Arquitectura centralitzada:** es parla de sistemes centralitzats quan es disposa d'un sol mode i tots els sensors i actuadors de la instal·lació estan connectats en aquest. El caràcter centralitzat d'un sistema redueix robustesa i el fa més propens a errades produïdes per la caiguda del controlador central. Si la instal·lació és gran, pot necessitar una gran quantitat de cables i, per tant, encareixen el producte.
- **Arquitectura descentralitzada:** en aquest cas hi ha més d'un mode i es presenten varis controladors, interconnectats per un bus, que envien informació entre ells i els actuadors i interfícies connectats als controladors, segons el sistema de domòtica escollit.
- **Arquitectura distribuïda:** cada sensor i actuator és també un controlador capaç d'actuar i enviar informació al sistema segons les característiques del sistema. Aquest tipus d'arquitectura sol ser pròpia dels sistemes de cablejat en bus o de xarxes sense fils.

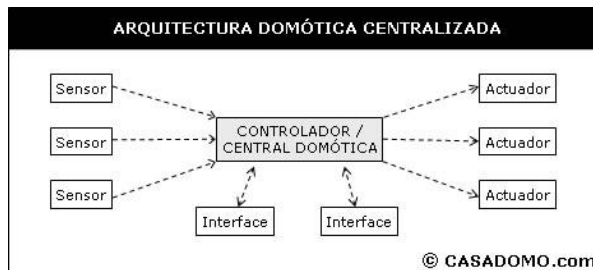


Figura 15. Arquitectura domòtica centralitzada (Font: <http://antoniopendolema.blogspot.com.es/2013/04/arquitectura-centralizada.html>)

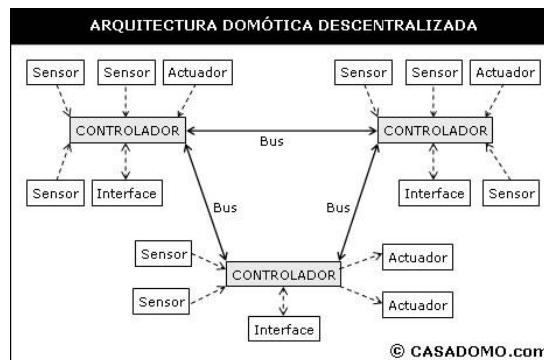


Figura 16. Arquitectura domòtica descentralitzada (Font: <http://arqcompus-domotica.blogspot.com.es/2009/06/arquitectura.html>)

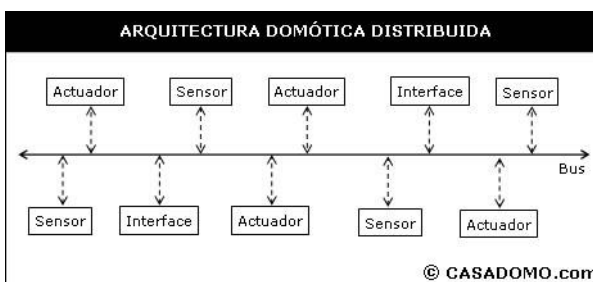
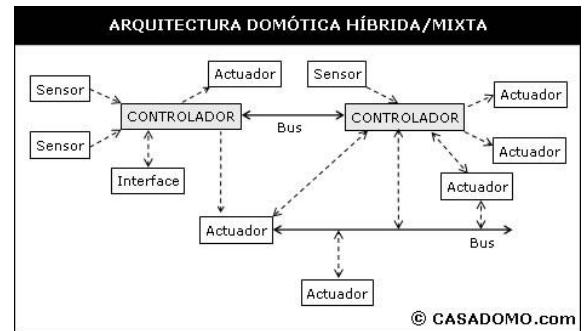


Figura 17. Arquitectura domòtica distribuïda (Font: <http://domotica-ubiobio.blogspot.com.es/2015/03/comparacion-sistema-centralizado-vs.html>)

- **Arquitectura híbrida/mixta:** en un sistema de domòtica d'arquitectura híbrida (denominada també mixta) es combinen les architectures dels sistemes centralitzats, descentralitzats i distribuïts.



**Figura 18.** Arquitectura domòtica híbrida/mixta (Font: <http://sltecnologia.wikispaces.com/Domotica?showComments=1>)









## 5. Àrees d'aplicació

La domòtica, com s'ha esmentat, evoluciona ràpidament, no només degut als canvis tecnològics i fruit de les innovacions de les empreses, sinó també a causa de la legislació vigent i de les necessitats dels usuaris. Per això, és impossible presentar una llista exhaustiva dels usos i els àmbits d'adaptació de les tecnologies de control en la llar o d'un edifici.

Si més no i, per tal de definir l'àbast dels sistemes domòtics, a continuació es presenten cinc diferents àmbits en els quals es pot utilitzar la tecnologia domòtica, fent menció de les diverses opcions que poden oferir cadascun d'ells. Aquests àmbits són: estalvi energètic, seguretat, confort, comunicacions i programació de diferents escenaris.

### 5.1. Seguretat

	<b>Alarma per incendi:</b> els sensors detecten l'incendi i envien un senyal d'alarma que normalment dispararà els sistemes ruixadors.
	<b>Alarma de fuga d'aigua:</b> els sensors, situats en llocs estratègics, detecten la inundació per aigua i envien un senyal d'alarma, que normalment tancarà la instal·lació de distribució mitjançant una electrovàlvula.
	<b>Alarma de fuga de gas:</b> detecta la fuga de gas i envia un senyal per tancar la clau de pas de la instal·lació, mitjançant una electrovàlvula.
	<b>Alarma de vent:</b> detecta la velocitat del vent i, si aquesta supera cert nivell, envia els senyals corresponents, per exemple: recollir els tendals.
	<b>Sistema anti-intrusió:</b> protegeix l'habitatge activant-se quan es detecta una intrusió, a través d'un detector de presència o de ruptura o obertura de finestres o portes.
	<b>Alarma per concentració de monòxid en garatges:</b> en cas que s'utilitzin vehicles de combustió.






Taula 4. Sistemes principals de seguretat (Font: pròpia)

## 5.2. Estalvi energètic

	<b>Gestió de la climatització multi-zona:</b> gestiona la temperatura independentment segons cada ambient i estança de l'habitatge, mitjançant unes sondes de temperatura.
	<b>Activació automàtica de la il·luminació:</b> encén i apaga els llums en funció de la presència o absència de persones.
	<b>Desactivació de la climatització per finestra oberta:</b> desactiva la calefacció o l'aire condicionat en cada habitació quan es detecta l'obertura de finestres i portes, per millorar la eficiència energètica de l'habitatge.
	<b>Calefacció en mode estalvi durant l'absència de persones:</b> automatitza el funcionament de la calefacció, que es situa en mode estalvi durant l'absència de persones i en mode confort (a la temperatura seleccionada) quan es detecta la seva presència.
	<b>Ventilació automàtica:</b> automatitza el sistema de ventilació, que es pot programar (per temporització) o activar-se en funció de l'ús de cada ambient.
	<b>Temporització dels electrodomèstics:</b> activa els electrodomèstics en determinades franges horàries per a beneficiar-se de les tarifes elèctriques més econòmiques i seqüenciar el seu funcionament.
	<b>Gestió automàtica de persianes, cortines i tendals:</b> obre i tanca persianes, tendals i cortines en funció de la temporització programada i del nivell de radiació solar existent (a través de sondes de llum), per a un millor aprofitament energètic.


Taula 5. Sistemes principals per l'estalvi energètic (Font: pròpia)

### 5.3. Confort

    	<p><b>Regulació de la il·luminació amb <i>dimmer</i>:</b> regula el nivell de la il·luminació en funció de les necessitats dels usuaris i segons el nivell de lluminositat ambient.</p>
	<p><b>Control de persianes, tendals i cortines:</b> obertura i tancament controlats de les diverses barreres solars (mitjançant uns mòduls de relés de potència) i supervisió del seu estat.</p>
	<p><b>Difusió d'àudio i vídeo:</b> difusió sonora en diverses estances simultàniament i control del sistema. Utilització d'aplicacions d'entreteniment sota demanda, permetent la programació de la televisió, entre d'altres.</p>
	<p><b>Comandament i control sense cables:</b> instal·lació i ús d'elements de comandament que no necessiten estar connectats mitjançant cables a la xarxa domòtica.</p>
	<p><b>Temporització i gestió del reg automàtic:</b> el sistema de temporització es connecta a l'electrovàlvula de reg i permet gestionar-lo automàticament (per exemple, en funció del nivell d'humitat de la terra) i programar-lo a les hores de més aprofitament.</p>






Taula 6. Sistemes principals pel confort (Font: pròpia)

## 5.4. Comunicacions

	<p><b>Gestió remota de les alarmes mitjançant SMS:</b> permet rebre informació sobre anomalies de la instal·lació mitjançant SMS.</p>
	<p><b>Gestió remota de la climatització:</b> ofereix la possibilitat d'activar, desactivar i controlar la instal·lació de calefacció i aire condicionat remotament mitjançant SMS.</p>
	<p><b>Gestió remota del porter automàtic:</b> permet rebre les trucades al videoporter remotament i gestionar des del telèfon mòbil l'obertura de portes i el control d'accessos.</p>
	<p><b>Video-control de l'habitatge mitjançant internet:</b> control visual de l'habitatge a través d'internet, des de qualsevol dispositiu que tingui accés a la xarxa.</p>
	<p><b>Connexió a Internet per realitzar diferents tasques:</b> afavorint la comunicació tant a nivell d'oci com laboral o per formació. Facilitant també la realització de compres o bé de consultes de salut, finances, obligacions i drets ciutadans, etc. Una altra possibilitat pot ser la d'incorporar el telemanteniment dels equips de domòtica.</p>

Taula 7. Sistemes principals de comunicació (Font: pròpia)

## 5.5. Programació de diferents escenaris

    	<p><b>Ambientació personalitzada:</b> mitjançant un únic comandament es poden activar funcions per aconseguir un ambient (il·luminació, climatització, etc.) òptims per un ús determinat.</p>
	<p><b>Tancament centralitzat:</b> efectua de forma automàtica les operacions que es realitzen al tancar l'habitatge (portes, gas, il·luminació, calefacció...).</p>
	<p><b>Obertura centralitzada:</b> realitza automàticament les operacions d'obertura de l'habitatge i activa les instal·lacions de gas, il·luminació, etc.</p>
	<p><b>Activació de sistemes de seguretat:</b> activa automàticament els sistemes de protecció de la llar quan es detecta un mal funcionament de la mateixa.</p>
	<p><b>Simulació de presència:</b> automatitza una sèrie d'accions per a simular la presència de persones dins de la llar i prevenir l'entrada d'intrusos.</p>

Taula 8. Sistemes principals pel control de diferents escenaris (Font: pròpia)

## 5.6. La domòtica a les estances de la llar

Els sistemes domòtics que es poden instal·lar a cadascuna de les estances d'un habitatge són:

<b>Entrada i passadís</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tancament centralitzat</li> <li>- Obertura centralitzada</li> <li>- Sistema anti-intrusió</li> <li>- Simulació de presència</li> <li>- Gestió remota de porter automàtic</li> <li>- Calefacció en mode d'estalvi durant l'absència de persones</li> </ul>
<b>Cuina</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Activació de sistemes de seguretat</li> <li>- Gestió remota d'alarmes per SMS</li> <li>- Alarma de fuga de gas</li> <li>- Alarma de fuga d'aigua</li> <li>- Alarma per incendi</li> </ul>
<b>Sala d'estar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestió de la climatització</li> <li>- Ambientació personalitzada</li> <li>- Video-control de l'habitatge per Internet</li> <li>- Gestió automàtica de persianes, cortines i tendals</li> </ul>
<b>Bany</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventilació automàtica</li> <li>- Alarma de fuga d'aigua</li> <li>- Desactivar climatització per obertura de finestra</li> <li>- Control de persianes o cortines</li> </ul>
<b>Dormitori</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventilació automàtica i desactivar climatització per obertura de finestra</li> <li>- Control de persianes o cortines</li> <li>- Regulació de la llum per <i>dimmer</i></li> <li>- Difusió d'àudio i vídeo</li> <li>- Ambientació personalitzada</li> </ul>

**Taula 9.** Distribució de components domòtics a la llar (Font: pròpia)

## 6. Associacions i instituts domòtics

Per tal que tant els usuaris com els venedors i fabricants dels productes domòtics tinguin una cobertura legal i reconeguda, tot seguit es presenten les associacions del sector de la domòtica que es poden trobar al mercat. Per ordre alfabètic són:

**CEDOM:** Associació Espanyola de Domòtica que va néixer l'any 1992. Es tracta del fòrum a nivell nacional que reuneix tots els agents del sector de la domòtica: fabricants de productes domòtics, fabricants de sistemes, instal·ladors, integradors, arquitectures i enginyeries, centres de formació, universitats i centres tecnològics.



**Figura 19.** Logo de la CEDOM (Font: <https://www.xatakahome.com/domotica/cedom-la-asociacion-espanola-de-domotica>)

**CENELEC:** Comitè Europeu de Normalització Electrotècnica. La Comissió CENELEC/ENTR/e-Europe/2001-03 és l'encarregada d'elaborar només a nivell europeu l'organització que ha promociat el Smart House Forum.



**Figura 20.** Logo de CENELEC (Font: <http://www.scame.com/it/infotec/enti/cenelec.asp>)

Per aquesta es donarà una explicació més extensa, al ser la normalització en Espanya sobre la gestió tècnica en edificis. Aquesta legislació es divideix en dos comitès tècnics:

- AEN/CTN 201/CLC/TC205: Sistemes electrònics domèstics i edificis.
- AEN/CTN 207/CLC/SC205A: Sistemes de comunicació a través de la xarxa elèctrica de baixa tensió.

Les normes UNE-EN disponibles per ambdós comitès es poden resumir en dues sèries:

- Sèrie UNE-EN 50090, sistemes electrònics per habitatges i edificis (HBES), amb diverses parts:
  - o Part 1-2. Generalitats del sistema. Arquitectura.
  - o Part 2-2. Supervisió general del sistema. Requisits tècnics generals.
  - o Part 3. Aspectes d'aplicació. Processos d'usuari.
  - o Part 3-1. Aspectes d'aplicació. Introducció a l'estructura de l'aplicació.
- Norma UNE-EN 50065-1, transmissió de senyals sobre les xarxes elèctriques de baixa tensió en la banda de freqüències de 3 kHz a 148,5 kHz.
  - o Part 1. Regles generals, bandes de freqüències i pertorbacions electromagnètiques.

Juntament amb la *Instrucción ICT-BT-51*, anomenada anteriorment, recollida en el REBT (Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió), estableix els requisits específics de la instal·lació dels sistemes d'automatització, gestió tècnica de l'energia i seguretat per habitatges i edificis.

Tal i com diu la instrucció: "El camp d'aplicació comprèn les instal·lacions d'aquells sistemes que realitzen una funció d'automatització per a diversos objectius, com la gestió de l'energia, control i accionament de

receptors de forma centralitzada o remota, sistemes d'emergència i seguretat en edificis, entre altres, amb excepció d'aquells sistemes independents i instal·lats com a tals, que puguin ser considerats en el seu conjunt com aparells, per exemple, els sistemes automàtics d'elevació de portes, persianes, tendals, tancaments comercials, sistemes de regulació de climatització, xarxes privades independents per transmissió de dades exclusivament i altres aparells, que tenen requisits específics recollits en les Directives europees aplicables conforme a l'estimat en l'article 6 del Reglament Electrotècnic per Baixa Tensió."

**IEEE:** *The Institute of Electrical and Electronics Engineers* (Institut d'Enginyers Elèctrics i Electrònics). Es tracta d'una associació tècnic-professional a nivell mundial dedicada a l'estandardització dels productes domòtics entre altres. És una autoritat líder i de màxim prestigi en les àrees tècniques derivades de l'elèctrica original: des d'enginyeria computacional, tecnologies biomèdica i aeroespacial, fins àrees d'energia elèctrica, control, telecomunicacions i electrònica de consum, entre altres.



**Figura 21.** Logo de IEEE  
(Font:  
<http://mdmconferences.org/mdm2015/>)

**KNX:** és l'associació internacional per a la promoció del protocol de bus KNX, que és una tecnologia de bus normalitzada per totes les aplicacions en l'automatització i control per habitatges i edificis.



**Figura 22.** Logo de KNX  
(Font:  
<https://www.knx.org/knx-en/index.php>)

**LonMark España:** és l'associació d'usuaris de la tecnologia LON, que va ser creada per la iniciativa d'empreses líders en els diferents sectors d'aplicació de la tecnologia LON (domòtica, in-mòtica, control industrial i transport).



**Figura 23.** Logo de LonMark España  
(Font:  
<http://www.lonmark.es/www/main/index.php>)



## 7. Projecte domòtic d'un habitatge

La instal·lació domòtica que s'ha dut a terme té l'objectiu de fer més eficient l'ús d'energia d'un habitatge. A continuació es detalla l'automatització que se li aplicarà.

Per una banda hi ha el control de persianes, les quals es pujaran i baixaran automàticament amb la sortida i la posta de sol. Aquest seguiment, es farà mitjançant els dos detectors de llum instal·lats a l'exterior de la casa, un per cada paret on hi hagi finestres, dos en total. Amb aquesta mesura es pretén aprofitar el màxim d'hores de sol, estalviant així en llum i calefacció.

Més enllà, s'han col·locat detectors de presència, els quals, juntament amb els sensors de llum instal·lats a l'exterior, encendran o apagaran l'enllumenat si detecten una presència i si la llum que entra per la finestra no il·lumina prou. Gràcies a aquest mètode, es redueix favorablement el consum dels llums, fent que no s'encenguin innecessàriament o bé es deixin enceses per descuit humà.

Els sensors de presència comentats anteriorment, també s'utilitzaran per fer sonar l'alarma acústica i lluminosa per si entrés algú no desitjat quan no hi hagués ningú a la casa. Pel que fa a altres tipus d'alarmes, s'han instal·lat sensors d'humitat (per a inundacions) i de fum (per a incendis).

A les aixetes s'han posat sensors de proximitat per a detectar quan algú es vagi a rentar les mans, fregar els plats o qualsevol altre ús, fent que l'aixeta s'obri i es tanqui ràpidament, evitant així el malbaratament d'aigua i l'inevitable consum d'electricitat al engegar i parar la bomba d'aigua.

Per a la temperatura, s'ha fet servir termòstats per automatitzar el control de calefacció i refrigeració. Tenint així la temperatura desitjada marcada per l'usuari, evitant tenir més graus dels necessaris o menys, segons sigui hivern o estiu.

El garatge té una porta automatitzada amb sensor per no fer cap cop al cotxe o a la persona que hi fos enmig en un moment donat, tenint un ús més de comoditat i seguretat en aquest cas.

Per últim, s'ha instal·lat una dutxa automàtica per afavorir la rapidesa a l'hora de tancar l'aigua i fer-ne així un bon ús. Mitjançant una sola polsada es pot regular la temperatura d'una manera pràctica i eficient, estalviant en el consum d'electricitat de la bomba d'aigua i la caldera.

Pel control del sistema domòtic de la casa, es situarà una pantalla tàctil a l'entrada, amb la qual es pot configurar a gust de l'usuari els diferents estalvis energètics que es poden aplicar a l'habitatge. També estarà connectat amb el sistema d'emergències en el cas d'haver un robatori, incendi o fer un avís a l'ambulància. Més enllà de les aplicacions domòtiques, té l'opció d'interfon.

Per acabar, cal dir que tot sistema sense fils es aplicable, no només en una interfície fixe, si no des d'un dispositiu mòbil o *tablet*, fent així un possible sistema híbrid.

## 7.1. Situació de l'habitatge

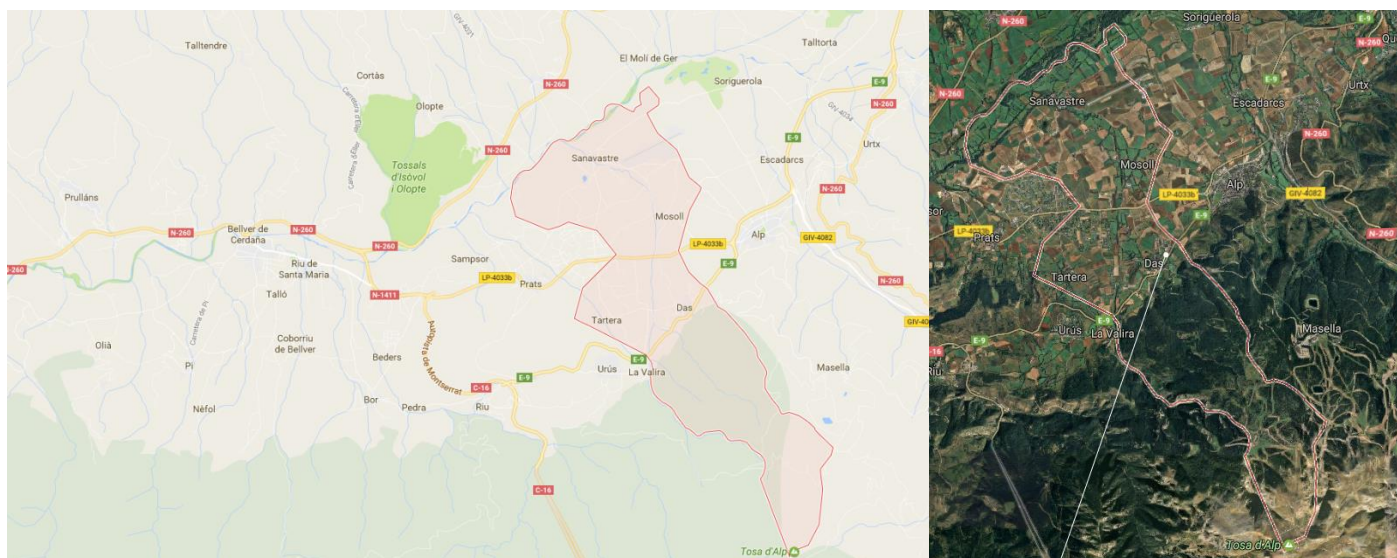
S'ha situat l'habitatge a la Cerdanya Catalana, al poble de Das. El motiu d'aquesta localització és el rang de temperatures que presenta aquell terreny, considerant un ús de la domòtica més profitable.

A la següent taula s'aprecien les temperatures i distàncies terrenals d'aquesta població, extretes de la web estadística oficial de Catalunya IDESCAT (2015):

	Estació	Altitud (m)	Mitjana anual	Mitjana de màximes	Mitjana de mínimes	Màxima absoluta	Mínima absoluta
Cerdanya	Das	1097	8.9	18.3	0.9	36.8	-13.1

**Taula 10.** Temperatures i distàncies terrenals de Das (Font: <http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=214&lang=es>)

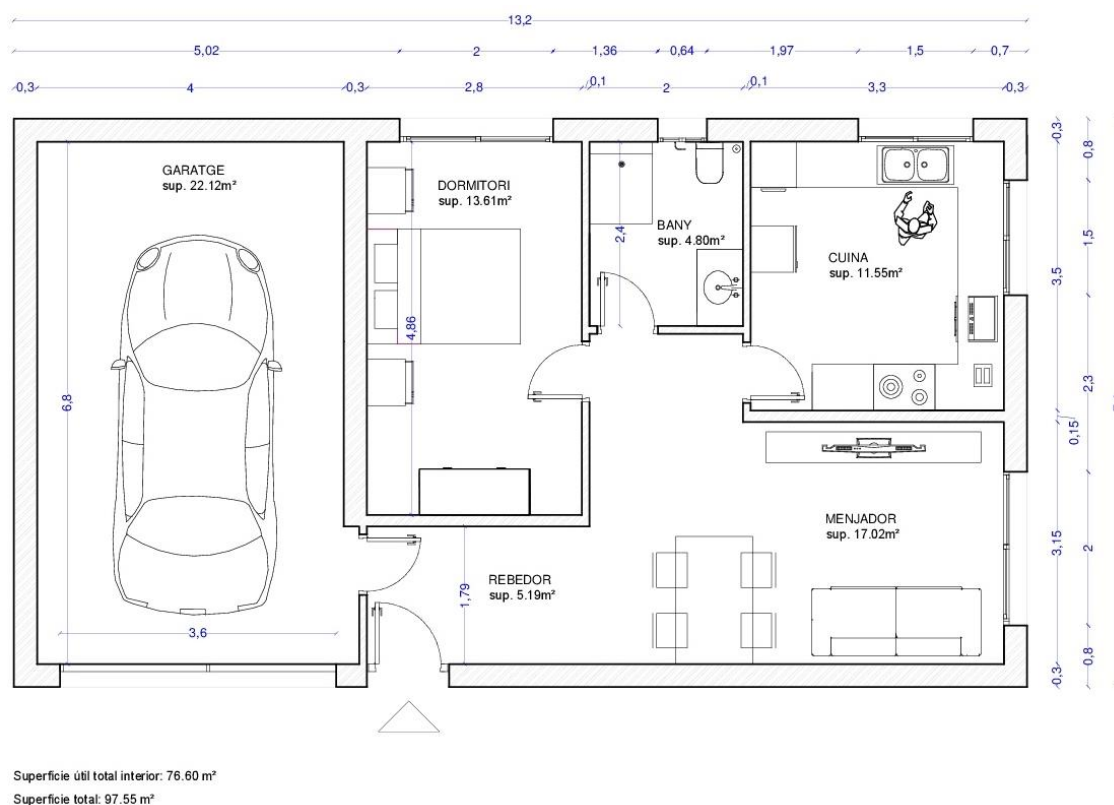
Per tenir una visió més exacta de la situació de la llar, es mostren imatges de la seva geo localització extretes del Google Maps:



**Figura 24.** Mapa polític i físic de la Cerdanya Catalana (Font: <https://www.google.es/maps/place/Das,+17538,+Girona/@42.35881,1.8321579,13z/data=!3m1!4m5!3m4!1s0x12a5779f5f09a92b:0x400fae021a468b0!8m2!3d42.3539548!4d1.8757422>)

## 7.2. Distribució de la llar

En la primera imatge, s'observa el plànol on es detallen les cotes i dimensions de la casa amb el mobiliari. S'observa com seria l'habitatge en el qual s'ha aplicat el sistema de gestió domòtica per a optimitzar el consum energètic. En la llegenda s'aprecia la superfície total i la superfície total útil, és a dir, descomptant les parets.



**Figura 25.** Plànol de la casa amb les seves cotes i dimensions (Font: pròpia)

A continuació, s'observa el plànol on s'ha detallat la ubicació dels sensors i els elements bàsics de baixa tensió, com ara: els endolls, la presa de telèfon, el quadre general de comandament i protecció etc. A la llegenda s'especifica què és cada símbol del plànol, juntament amb el nombre d'unitats de cada sensor/element.

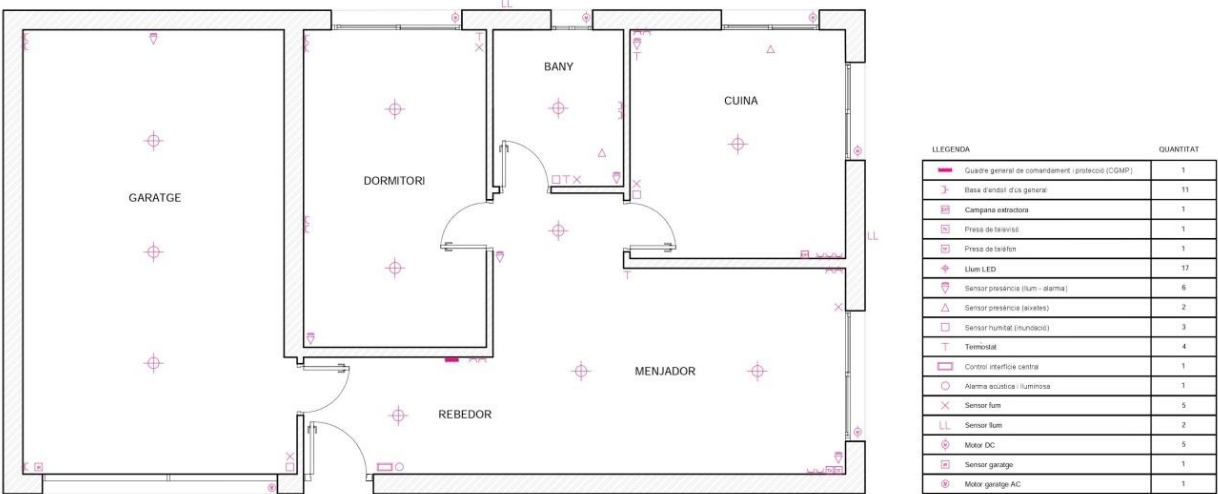


Figura 26. Plànol de la ubicació dels sensors i elements bàsics de Baixa tensió de la casa (Font: pròpia)

## 7.3. Elecció de sensors i actuadors de la llar

### Detector crepuscular Xindar SEKKYUR-SOL: 16,95 €/un x 2 unitats

Càrrega nominal: 300W per a LED's.

Llum ambient ajustable: 3-200 lux

Entrada: Analògica (alimentació corrent alterna)

Sortida: Analògica (alimentació corrent contínua)



**Figura 27.** Detector crepuscular, DETCREP Ref.16765231 (Font:

font:<http://www.leroymerlin.es/fp/16765231/detector-crepuscular-xindar-detcrep?idCatPadre=250381&pathFamiliaFicha=3907>)

### Detector PIR de moviment (presència): 16,90 €/un x 6 unitats

Tecnologia: infraroig

Consum: 0.45 W (0.1 W standby)

Rang de detecció: 12 m màx.

Entrada: Analògica (alimentació corrent alterna)



**Figura 28.** Detector PIR de moviment (Font:

[http://www.diotronic.com/det-pir-de-mov-temp-180%C2%A7-12mts\\_2321/](http://www.diotronic.com/det-pir-de-mov-temp-180%C2%A7-12mts_2321/))

### Detector de fum: 14,68 €/un x 5 unitats

Consum: 0.45 W (en alarma)

Alarma sonora i lluminosa: 85 dB

Entrada: Analògica (alimentació corrent contínua)



**Figura 29.** Detector de fum (Font:

[http://www.diotronic.com/detector-de-humo-miniatura\\_27693/](http://www.diotronic.com/detector-de-humo-miniatura_27693/))

### Detector d'inundacions: 24,66 €/un x 3 unitats

Connexió sense fils

Autonomia de 12 mesos

Entrada: Analògica (alimentació corrent contínua)

Sortida: Sense fils



**Figura 30.** Detector d'inundació (Font:

[http://www.diotronic.com/detector-inundacion-para-g5\\_26588/](http://www.diotronic.com/detector-inundacion-para-g5_26588/))

**Termòstat: 29,95 €/un x 4 unitats**

Sensibilitat: 0,5 °C

Rang de temperatura: 4-35 °C

Entrada: Analògica (alimentació corrent contínua)



**Figura 31.** Termòstat (Font: <http://www.leroymerlin.es/fp/15301594/termostato-digital-equation-digital>)

**Aixeta automàtica: 69,90 €/un x 2 unitats**

Estalvi d'un 60-80 %

Entrada: Analògica (alimentació corrent contínua)



**Figura 32.** Aixeta automàtica (Font: <http://mundogrifo.es/grifos-con-sensor/44-grifo-con-sensor-automatico-3.html>)

**Dutxa automàtica: 1.566,10 €**

Sistema intel·ligent amb control de caudal i temperatura.

Entrada: Analògica (alimentació corrent alterna)

Sortida: Analògica (alimentació corrent continua)



**Figura 33.** Dutxa automàtica (Font: <http://www.prestoiberica.com/ducha/domotica/presto-smrt-ducha?c=es>)

**Avisador acústic i lluminós: 24,08 €**

Consum: 3,36 W (en alarma)

Alarma sonora: 115 dB

Entrada: Analògica (alimentació corrent contínua)



**Figura 34.** Avisador acústic i lluminós (Font: <http://www.elinstaladorelectricista.es/default/domotica-2/alarmas-tecnicas/alarma-doble-se-al-acustica-115db-y-luminosa-estroboscopica.html>)

### Llums LED: 7,03 €/un x 11 unitats

Lúmens: 810

Potència: 10W

Estalvi: 90%

Duració: 25.000 hores

Entrada: Analògica (alimentació corrent alterna)



**Figura 35.** Llums LED (Font: [http://www.diotronic.com/bomb-led-esf-e-27-10w-810lm-lc\\_27631/](http://www.diotronic.com/bomb-led-esf-e-27-10w-810lm-lc_27631/))

### Motor persiana: 60,65 €/un x 5 unitats

Par motor: 10 Nm

Velocitat: 17 r.p.m

Entrada: Analògica (alimentació corrent alterna)



**Figura 36.** Motor persiana (Font: <http://www.leroymerlin.es/fp/13838986/motor-de-persiana-greutor-ag40?idCatPadre=250381&pathFamiliaFicha=3909>)

### Videoporter + Actuador porta: 199 € + 19,45 € = 218,45 €

Pantalla: 7 polsades

Alimentació: 220 V / 12 V

Entrada: Analògica (alimentació corrent alterna)



**Figura 37.** Actuador per obrir la porta (Font: <http://www.bricor.es/bricor/electricidad-iluminacion/domotica/porteros-de-vivienda/gatillo-electronico-corto-000315500512>)



**Figura 38.** Videoporter (Font: <http://www.bricor.es/bricor/electricidad-iluminacion/domotica/porteros-de-vivienda/videoportero-manos-libres-tactil-negro-000315500785>)

### Interfície central – 125 €

WiFi disponible

Alimentació: 100-240 V en AC



**Figura 39.** Interfície central (Font: <https://wattio.com/en/shop/gate-1>)

**Motor porta garatge amb sensor – 285 €**

Alimentació: 230 V en AC

Potència: 250 W

Corrent: 1,3 A

Entrada: Analògica (alimentació corrent alterna)



**Figura 40.** Motor porta garatge amb sensor  
(Font: <http://www.fgmatic.com/es/motores-puertas-contrapesadas/85-motor-contrapesadas-basic.html>)

**PREU TOTAL = 3.141,49 €**

A causa de la poca informació detallada que es presenta sobre els senyals de sortida dels sensors, connectats al PIC, s'ha col·locat una etapa adaptadora, la qual es dissenyaria un cop es tingués les característiques completes de cada component.

Per la connexió entre els sensors i la etapa adaptadora, s'utilitzaria la connexió bus I2C, el qual ja està integrat en el microcontrolador. Per ampliar la funcionalitat d'aquest circuit inter-integrat, s'afegiria un expansor de bus, concretament el 82B715. Fet que permetrà connectar els dispositius analògics a llargues distàncies (50 metres) amb la placa base.



## 7.4. Elecció de components

Tot seguit, es mostra l'esquema de la placa de control comercial amb el microcontrolador PIC.

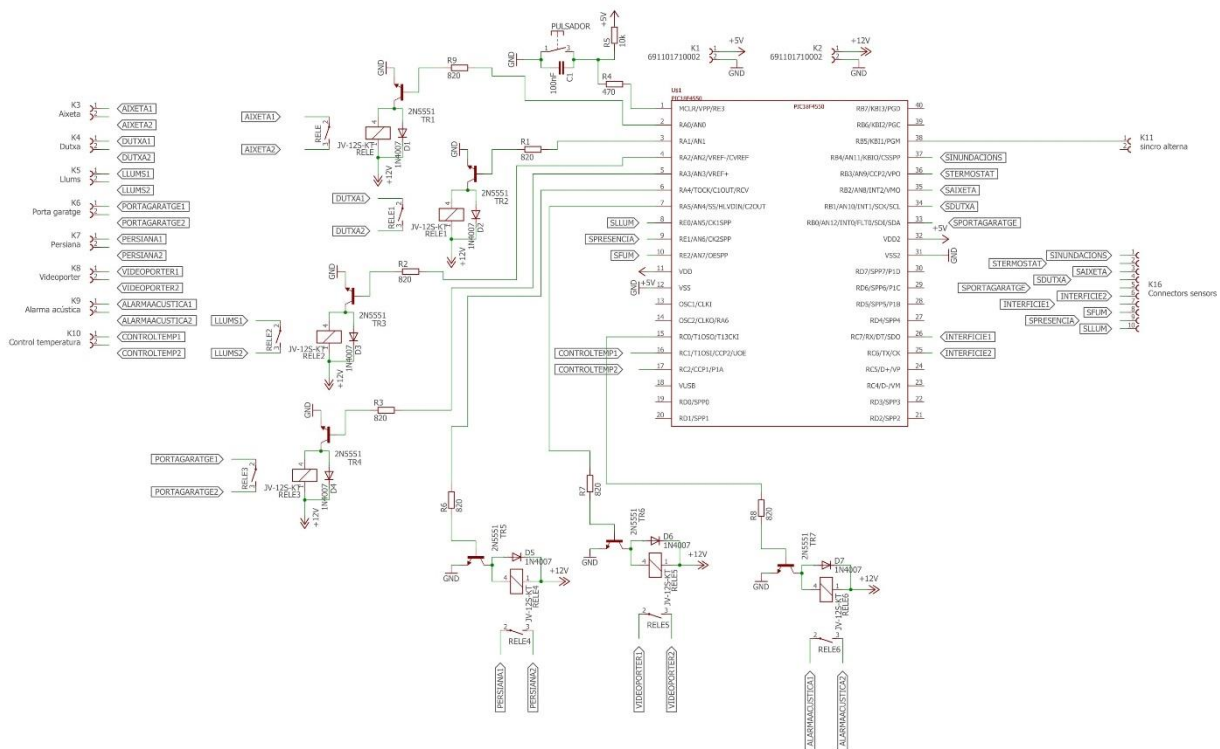


Figura 41. Esquema de la placa de control comercial amb el microcontrolador PIC (Font: pròpia)

Degut a l'escassa informació per part dels fabricants dels sensors, s'han col·locat etapes adaptadores en les sortides dels sensors cap al PIC. En aquesta interfície, s'adaptaria el senyal provinent del dispositiu, per adequar-la a l'entrada del microcontrolador.

Pels actuadors, s'ha fet servir relés de 5 A, ja que és suficient per abastir la potència dels aparells de l'habitatge. La justificació del càlcul de l'activació del relé, es mostra en l'apartat 8.1. Components i càlculs, en el Control de temperatura-resistència calefactors.

En el control de la temperatura de l'habitatge, s'han posat uns quants termòstats, els quals donen la temperatura ambient de la casa al PIC. Quan aquesta temperatura sigui inferior a la temperatura de consigna, el microcontrolador donarà senyal al sistema de calefacció, per encendre-la.

Degut a que la potència del sistema de calefacció és molt alta, s'ha incorporat un sistema d'activació que s'explica en el punt 7.4 Elecció de components.

### Sistema calefactor

Per a controlar la temperatura de la casa, s'ha fet una altre placa a part de la controladora central, per a modificar la consigna de temperatura. Aquesta placa es pot veure a continuació:

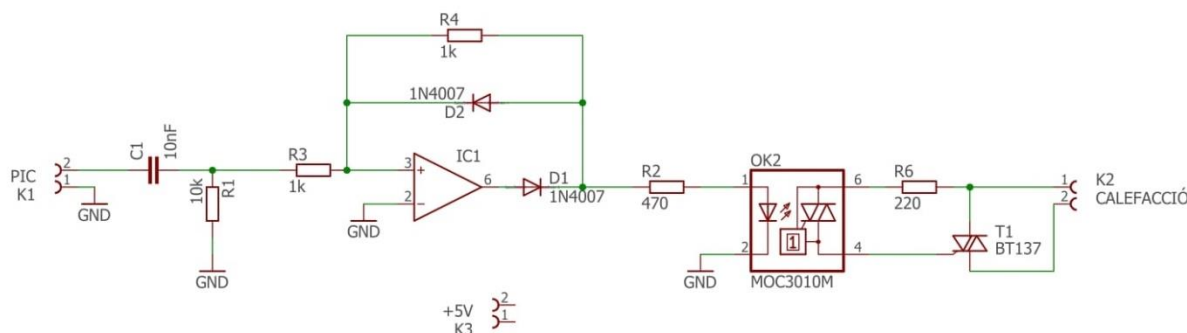


Figura 42. Placa controladora de la temperatura (Font: pròpia)

Per aquest control s'ha invertit el senyal, per software, del PWM proporcionat pel microcontrolador. El funcionament del PWM es basa en donar un senyal d'una determinada durada, la qual va de '0' a 1 lògic i es manté a '1', segons el valor que se li hagi donat a la consigna. Un cop finalitza el temps del senyal, passa de '1' a '0' lògic.

Posteriorment es col·loca un filtre passa alts, per passar el senyal quadrat a un de polsos. Seguidament s'ha col·locat un rectificador inversor de mitja ona, per invertir els pols negatius provinents de la descàrrega del condensador i, per tant, tornant-los positius. D'aquesta manera s'eliminen també els polsos que abans d'aquesta etapa eren positius.

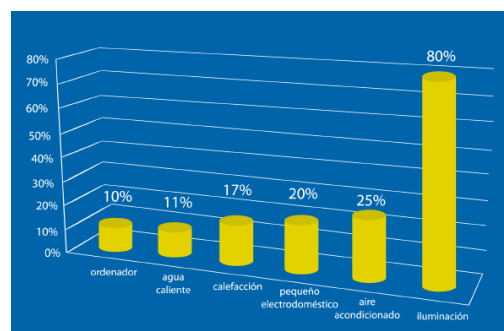
Seguidament es col·loca la interfície de potència, la qual es compona d'un opto aïllador TRIAC i un TRIAC. Les resistències que hi ha adherides en aquesta part del circuit serveixen per controlar el corrent que circula per l'opto aïllador. A la sortida d'aquest apartat es troben els contactes pel sistema de calefacció.

Per poder sincronitzar amb el corrent altern, s'ha introduït aquest senyal per un dels pins del PIC: el port B.

## 7.5. Estalvi energètic amb la instal·lació domòtica

Per mostrar l'estalvi energètic que s'ha aconseguit en aquest habitatge, es farà servir l'estudi de la "Asociación española de domótica" (CEDOM). Gràcies a aquest, es veu amb més claredat que l'aplicació de la domòtica en un habitatge redueix, considerablement, el consum d'energia.

En la següent gràfica, es mostra l'estudi fet durant un any, en una casa amb el sistema típic domòtic, molt semblant en els àmbits d'aplicació que s'ha fet en aquest projecte. Cal dir que els percentatges del consum energètic podrien variar notòriament, depenent de la responsabilitat i consciència que tinguin els habitants de la casa.



**Figura 43.** Percentatges del consum elèctric anual en un habitatge (Font: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)

Aplicant aquests percentatges en el consum de l'habitatge tractat, s'ha detallat l'estalvi econòmic anual. Per altra banda, a part de l'estalvi econòmic que representa a llarg termini, hi ha una reducció de la contaminació a la Terra. Al ser totalment autosuficient, l'habitatge tan sols s'abasteix d'energia renovable, fent així un món més net i sostenible per a tothom.

S'aconsegueix un estalvi total de 112,6 €/any, el qual en percentatge seria el 48% sobre el consum en aquests àmbits d'aplicació, esmentats en el gràfic anterior.

Components de la casa	Consum inicial anual (kWh/any)	Consum final anual (kWh/any)	Estalvi anual (kWh/any)	Estalvi anual (€/any)
Ordinador	43,435	39,092	4,343	0,652
Bomba de calor (energia geotèrmica): Aigua calenta, calefacció, aire condicionat	1.385	650,95	734,05	110,108
Il·luminació	15,33	3,066	12,264	1,84
<b>Total</b>	<b>1.443,765</b>	<b>693,108</b>	<b>750,657</b>	<b>112,6</b>

**Taula 11.** Resum dels consums i estalvis anuals, energètics i econòmics (Font: pròpia)

A conseqüència de fer servir l'energia geotèrmica (bomba de calor), la reducció econòmica i del consum d'electricitat és 4 vegades menys el seu valor en el cas que no s'utilitzés una energia renovable.

Gràcies a la instal·lació de les llums LED, en comptes de llums tradicionals, s'aconsegueix una reducció del 90% sobre el consum d'electricitat. Per tant, aplicant la domòtica en la instal·lació de la llum, segons el gràfic anterior s'obté un estalvi del 80%, sobre el 90% ja fet gràcies als llums LED. Per tant no es veu una diferència molt significativa en l'estalvi.

### 7.5.1. Cotxe elèctric

A continuació, es detalla l'estalvi econòmic pel fet de tenir un cotxe elèctric al garatge de l'habitatge, en comptes d'un vehicle a benzina.

COTXE ELÈCTRIC	COTXE DE BENZINA (Sense plom 98)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0,15€/kWh</li> <li>• Al dia: 100 km; 20 kWh</li> <li>• A l'any: 36.500 km; 7.300 kWh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1,38 €/litre</li> <li>• 6,64€/100km (suposant 4,8 litres cada 100 km)</li> </ul>
<b>Cost anual electricitat: 1.095 €/any</b>	<b>Cost anual benzina: 2.424,768 €/any</b>

**Taula 12.** Estalvi econòmic que suposa l'ús de cotxe elèctric (Font: pròpia)

Finalment, s'ha calculat el benefici que es tindria pagant l'electricitat i, per altra banda, aplicant les plaques solars, tot respecte el fet de prescindir del cotxe de benzina:

- L'estalvi pagant electricitat, seria d'uns 1.329,768 €/any. Resultat de la diferencia del que costaria un cotxe de benzina a l'any (2.424,768 €/any) i el cost anual si es tingués el cotxe elèctric (1.095€/any) .
- L'estalvi amb plaques solars a l'habitatge, seria de 2.424,768 €/any, és a dir, el cost anual del cotxe de benzina.

## 7.6. Energies renovables

Per fer el més sostenible possible l'habitatge, s'ha decantat per utilitzar energies renovables. En aquest cas concret, s'ha realitzat el disseny de manera que la casa sigui completament autosuficient, així no ha de dependre de cap xarxa elèctrica exterior i redueix l'impacte ambiental que suposen les xarxes de distribució de l'electricitat.

Tot seguit es detallen les dues energies que s'han fet servir en aquest projecte. Per una banda, hi ha l'energia solar, la qual abastirà d'energia elèctrica tota la casa i, per l'altre, l'energia geotèrmica, la qual reduirà quatre vegades el consum elèctric de calefacció, aigua calenta i refrigeració.

### 7.6.1. Energia solar

S'ha optat per instal·lar plaques solars fotovoltaïques, per abastir l'habitatge d'energia pròpia, fent-la així aïllada de la xarxa elèctrica i convertint la casa en una autosuficient. Mitjançant l'absorció de l'energia solar, es convertirà a energia elèctrica.

La instal·lació està formada per:

- 1- Plaques solars fotovoltaïques
- 2- Reguladors (per carregar les bateries)
- 3- Bateries
- 4- Inversors (ondulador)

A continuació es presenta un diagrama per tenir millor visualització i enteniment del procés de transformació de l'energia.

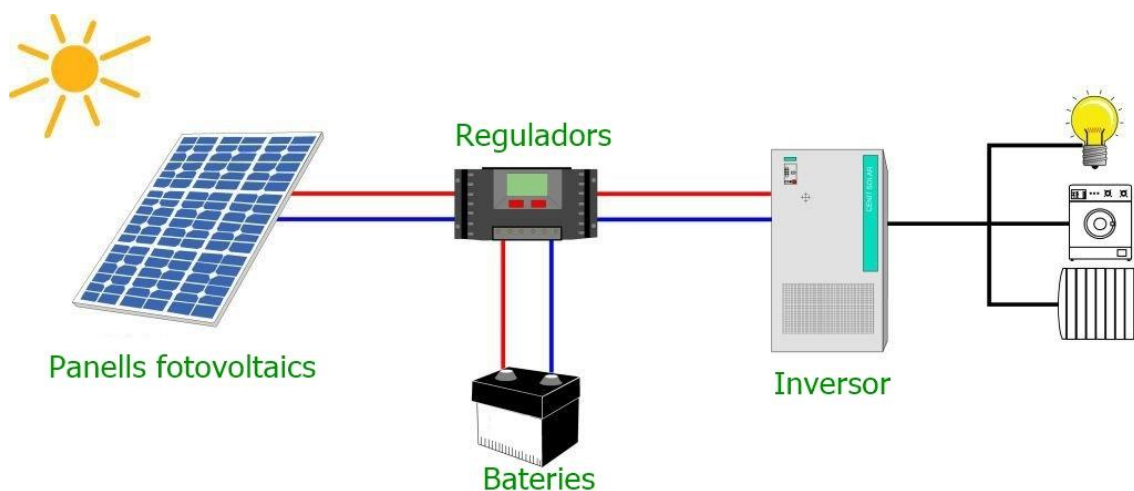


Figura 44. Instal·lació energia solar (Font: <http://comofuncionaque.com/como-funciona-la-energia-solar/>)

### 7.6.1.1. Càlculs instal·lació energia solar

Tenint un consum de 10.317 kW/any (28,265 kWh/dia), s'ha triat un sistema de bateries de 48 V, ja que la potencia sobrepassa els 5 kW.

En la Taula 13, es detallen els càlculs per a l'elecció dels diferents aparells que componen la instal·lació fotovoltaica.

APARELLS	PROCEDIMENT	DESCLÒS	TOTAL
<b>Número de panells solars</b>	$\frac{\text{Energia necessària}}{\text{hores sol pic} \cdot \text{rendiment de treball} \cdot \text{potència pic del mòdul}}$	$\frac{28.265}{4 \cdot 0,8 \cdot 300}$	<b>30</b>
<b>Capacitat de la bateria</b>	$\frac{\text{Energia necessària} \cdot \text{Dies d'autonomia}}{\text{Voltatge bateria} \cdot \text{Profunditat de descàrrega de la bateria}}$	$\frac{28.265 \cdot 4}{48 \cdot 0,8}$	<b>2.944,27 Ah</b>
<b>Potència inversor</b>	$\text{Potència total màxima de l'habitatge} \cdot \text{Coeficient de simultaneïtat}$	$41.524 \cdot 0,7$	<b>29,067 kW</b>
<b>Corrent regulador</b>	$\begin{aligned} &\text{Número de panells solars} \\ &\cdot \text{Intensitat de curtcircuit dels panells solars} \\ &\cdot 1,2 \text{ (coeficient de seguretat)} \end{aligned}$	$30 \cdot 9,98 \cdot 1,2$	<b>359,28 A</b>

Taula 13. Detall del càlcul de la instal·lació d'energia solar (Font: pròpia)

A continuació es justifiquen les dades que s'han emprat per realitzar els càlculs de la instal·lació solar:

**Hores sol pic:** són el nombre d'hores en les que hi ha radiació solar mitjana de 1 kW/m<sup>2</sup>. S'ha de tenir en compte la inclinació del panell solar, dada extreta de l'empresa *Power Circuit Solar S.L.* que tracta l'energia solar fotovoltaica.

**Rendiment de treball:** es tracta del rendiment del panell solar. S'ha escollit el valor de 80%, tenint en compte el manteniment i les condicions probablement imperfectes de l'instrument.

**Dies d'autonomia:** pensant en el disseny de l'estructura fotovoltaica, s'ha decidit que l'habitatge tingui una autonomia energètica de quatre dies pel cas que hi hagués qualsevol problema.

**Profunditat de descàrrega de la bateria:** valor en tant per deu del que es pot arribar a descarregar la bateria sense que es faci malbé. Depenent del tipus de bateria, canvia el valor, el qual pot oscil·lar entre 0,5 i 0,8. En aquest cas, la bateria triada té un valor de 0,8.

Resumint, s'instal·laran 30 panells solars per a complir la demanda energètica diària i 6 reguladors de 60 A cadascun. Per fer un sistema de 48 V, s'han triat bateries de 2 V, és a dir, 24 bateries en sèrie amb una capacitat de 3420 A·h.

Finalment, es col·locaran quatre inversors en paral·lel de 8kW de contínua a 40 °C, tenint en compte el pitjor dels casos, produint així 32 kW de potència.

### 7.6.1.2. Components de la instal·lació de plaques solars

#### Panells solar

Potència: 300 W

Intensitat de curtcircuit: 9,98

Material: Silici



**Figura 45.** Panell solar (Font: [https://www.puntoenergiashop.it/es/paneles-fotovoltaicos/2426-placa-solar-fotovoltaico-300w-monocristalino-implant-casa-baita-8380242637229.html?utm\\_campaign=merchantcenter&utm\\_source=google&utm\\_medium=ads&gclid=CjwKEAjwkq7GBRDun9iu](https://www.puntoenergiashop.it/es/paneles-fotovoltaicos/2426-placa-solar-fotovoltaico-300w-monocristalino-implant-casa-baita-8380242637229.html?utm_campaign=merchantcenter&utm_source=google&utm_medium=ads&gclid=CjwKEAjwkq7GBRDun9iu))

#### Bateries

Tipus: bateria estacionaria OpzS

Temps de vida: >20 anys a 20 °C

Voltatge: 48 V

Capacitat: 3420 Ah

Profunditat de descàrrega: 80 %



**Figura 46.** Bateries (Font: <https://autosolar.es/baterias-estacionarias-48v/bateria-estacionaria-bae-48v-3420ah>)

#### Inversors

Potència de sortida: 8.000W a 40°C

Voltatge d'entrada: 48 V

Voltatge de sortida AC: 230 V

Corrent màxima de sortida: 140 A



**Figura 47.** Inversor (Font: <http://www.technosun.com/es/productos/inversor-cargador-VICTRON-QUATTRO-48V-10000W-140A-dos-entradas-AC-100-100A.php>)



## Reguladors

Tecnologia: MPPT

Corrent de càrrega: 60 A

Potència màxima d'entrada: 3.200 W (a 48 V)



**Figura 48.** Regulador (Font: [https://www.damiasolar.com/productos/regulador\\_solar/regulador-maximizador-mppt-ecosolar-60a-12-24-48v-con-pantalla\\_da0201\\_100](https://www.damiasolar.com/productos/regulador_solar/regulador-maximizador-mppt-ecosolar-60a-12-24-48v-con-pantalla_da0201_100))

### 7.6.1.3. Cost instal·lació plaques solars

UNITATS	PREU UNITAT	PREU TOTAL
24 bateries	PACK	26.320,16 €
30 Panells solars	209,94 € · 30 unitats	6.298,2 €
6 Reguladors	345 € · 6 unitats	2.070 €
4 Inversors	3.414,95 € · 4 unitats	13.659,8 €
<b>TOTAL</b>		<b>48.348,16 €</b>

**Taula 14.** Detall del cost dels components de la instal·lació de plaques solars (Font: pròpia)

#### 7.6.1.4. Estalvi

A continuació es detalla el cost d'avui dia de la factura del llum, sabent així l'estalvi que s'obtindria amb la instal·lació de l'energia solar.

CONCEPTE	DESGLOSSAMENT	PREU
Potència contractada	3,1 €/kW·mes) · 32 kW · 12 mesos	1.190,400 €/any
Consum	10.317 kWh · 0,15 €/kWh	1.547,550 €/any
Impost sobre l'electricitat	5,11% · (Preu consum + Preu Potència contractada)	139,983 €/any
Lloguer d'equips de mesura	0,81 €/mes · 12 mesos	9,720 €/any
IVA	21%	606,407 €/any
<b>TOTAL</b>		<b>3.494,06 €/any</b>

**Taula 15.** Detall del cost anual del contracte de llum amb tots els components de la casa dissenyada (Font: pròpia)

El fet d'aprofitar una energia renovable pel consum d'electricitat, no es paga la factura del llum, el qual es pot apreciar en la taula anterior que són 3.494,06 €/any. Per tant, tenint en compte que la inversió que requereix la utilització de l'energia solar és de 48.348,16 €, el temps que s'amortitzaria aquesta inversió inicial seria d'uns 14 anys.

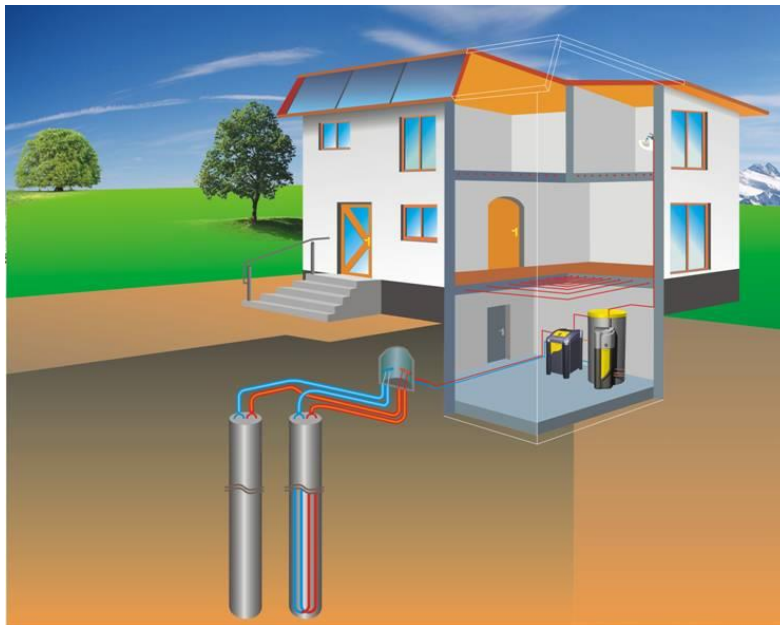
$$\text{Amortització [anys]} = \frac{\text{Cost inversió energia solar}}{\text{Cost anual factura del llum}} = \frac{48.348,16 \text{ €}}{3.494,06 \text{ €/any}} = 13,84 \text{ anys} \quad (\text{Eq. 1})$$

## 7.6.2. Energia geotèrmica

A l'habitatge s'instal·larà sòl radiant per reduir així el consum d'energia. Gràcies a l'energia geotèrmica amb la bomba de calor, s'arriba a estalviar 4 cops l'energia consumida, és a dir, per cada 1 kWh d'energia consumida, la bomba de calor en produirà 5 kWh. S'estalviarà 4 kWh d'energia, fent més eficient l'habitatge. L'ús de la bomba de calor, servirà per: l'aigua calenta de la casa, la calefacció a l'hivern i la refrigeració a l'estiu.

La instal·lació està formada per:

- 1- Pou(s) vertical(s) d'uns 100-150 m per on passen unes canonades on s'escalfa o es refreda l'aigua
- 2- Bomba de calor: compressor, evaporador, vàlvula d'expansió i condensador
- 3- Dipòsit d'aigua
- 4- Conjunt de canonades que recorren el terra de la casa (sòl radiant).



**Figura 49.** Instal·lació energia geotèrmica amb sòl radiant (Font: <http://www.enertres.com/boletin/imagenes/energia-geotermica.jpg> )

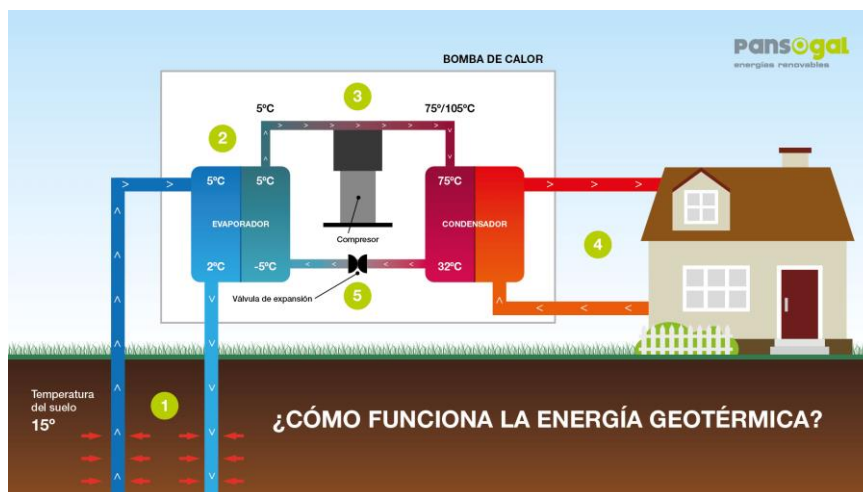


Figura 50. Funcionament de la bomba de calor (Font: <http://geotermiaonline.com/todo-lo-que-hay-que-saber-sobre-geotermia-para-despejar-dudas/>)

El cost de la instal·lació dependrà del terreny i de l'habitatge, per això s'hauria de fer un estudi per cada cas on es volgués aprofitar l'energia geotèrmica. El preu per un habitatge de les nostres dimensions, pot rondar els 10.000€ aproximadament.

#### 7.6.2.1. Càlculs bomba de calor

Les necessitats tèrmiques d'un habitatge, amb valors generals habituals, seria d'uns  $70 \text{ W/m}^2$ . L'habitatge dissenyat, descomptant el garatge, ja que no hi ha necessitat d'escalfar-lo, seria d'uns  $52,17 \text{ m}^2$ .

	Procediment	Desglossament	Total
Potència bomba de calor	Necessitat tèrmica · metres quadrats de l'habitatge	$70 \cdot 52,17$	<b>3.651,9 W</b>

Taula 16. Potència de la bomba de calor (Font: pròpia)

En el mercat, es poden trobar bombes de calor habituals que donen una potència entre 1,5-12 kW.

La bomba de calor triada és la següent:

#### Bomba de Calor Suneo G14

- Potència de Calefacció màxima: 13,37 KW
- C.O.P: 3,83 (rendiment en tant per 1)
- Refrigerant: R407C



**Figura 51.** Exemple d'instal·lació: Bomba de calor, dipòsit d'aigua i canonades (Font: pàgina 22 PDF

[https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwjK0q-1uNHSaHWF14MKHU72AvEQFggTMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.crana.org%2Fthemed%2Fcrana%2Ffiles%2Fdocs%2F051%2F090%2Fpequenas\\_instalaciones\\_geotermia\\_sector\\_residencial.pdf&usq=AFQjCNEV9CbF-crd\\_GclSig8vDp8XeWZwQ&sig2=eQgYCpQ5IYSExh6cYPp7g&bvm=bv.149397726,d.d24&cad=rja](https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwjK0q-1uNHSaHWF14MKHU72AvEQFggTMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.crana.org%2Fthemed%2Fcrana%2Ffiles%2Fdocs%2F051%2F090%2Fpequenas_instalaciones_geotermia_sector_residencial.pdf&usq=AFQjCNEV9CbF-crd_GclSig8vDp8XeWZwQ&sig2=eQgYCpQ5IYSExh6cYPp7g&bvm=bv.149397726,d.d24&cad=rja)

#### 7.6.2.2. Estalvi

El consum de l'habitatge seria d'uns 1.385 kWh/any amb sòl radiant instal·lat al terra de la casa. Tot això, tenint en compte que hi ha un estalvi de 4 cops aquesta energia i que no es necessitaria: aire condicionat, radiadors i caldera.

Consum	Preu	IVA	Total
1.385 kWh/any	0,15 €/kWh	21%	1.005,51 €/any

**Taula 17.** Consum anual del conjunt de radiadors, calderes i aire condicionats en una casa (Font: pròpia)

Com a conclusió, la recuperació de la inversió neta, sense comparar amb les altres energies (gas natural, gas-oil, etc.) i instal·lacions, rondaria els 10 anys. Per altra banda, cal dir que les altres energies no tindrien cap recuperació econòmica i l'efecte que produiria a la Terra seria nociu.

## 7.7. Consum total de l'habitatge

Seguidament, es mostra una taula de consums amb tots els components de la llar.

Aparell	Potència (kW)	Consum dia (kWh/dia)	Consum any (kWh/any)
Carregador cotxe elèctric	7	20	7.300
Nevera	1	0,48	175,2
Rentadora	2	0,916	334,34
Microones	1,2	0,5	182,5
Forn	2,9	0,56	204,4
Vitroceràmica	4,6	0,6	219
Enllumenat	0,140	0,042	15,33
Torradora	1,150	0,125	45,625
Televisió	0,600	0,18	65,7
Portàtil	0,190	0,119	43,435
Extractor	0,286	0,6	219
I-Robot	0,033	0,0104	4,015
Carregador de mòbil	0,005	0,005	1,9
Motors persianes	6,8	0,323	117,895
Domòtica			0,3
Bomba de calor	13,37		1.385
Motor garatge	0,250	0,018	3,042
<b>TOTAL</b>	<b>41,524</b>	<b>28,265</b>	<b>10.317</b>

**Taula 18.** Consums de tots els components de la llar (Font: pròpia)

## 8. Prototip de proves

L'objectiu del prototip de proves realitzat és la visualització d'un sistema domòtic aplicat a una llar a petita escala. A continuació es presenten els càlculs i justificacions realitzats per la construcció i desenvolupament d'aquest muntatge.

### 8.1. Components i càlculs

#### Microcontrolador: PIC18F4550

S'ha escollit el microcontrolador PIC18F4550, per la seva capacitat de memòria: Flash de 32Kbytes, SRAM de 2048 bytes i EEPROM de 256 bytes. A més a més, disposa de 35 entrades i sortides, les quals han sigut claus per connectar el màxim de dispositius possibles.

Features	PIC18F4550
Operating Frequency	DC – 48 MHz
Program Memory (Bytes)	32768
Program Memory (Instructions)	16384
Data Memory (Bytes)	2048
Data EEPROM Memory (Bytes)	256
Interrupt Sources	20
I/O Ports	Ports A, B, C, D, E
Timers	4
Capture/Compare/PWM Modules	1
Enhanced Capture/Compare/PWM Modules	1
Serial Communications	MSSP, Enhanced USART
Universal Serial Bus (USB) Module	1
Streaming Parallel Port (SPP)	Yes
10-Bit Analog-to-Digital Module	13 Input Channels
Comparators	2
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT
Programmable Low-Voltage Detect	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes
Instruction Set	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled
Packages	40-Pin PDIP 44-Pin QFN 44-Pin TQFP

**Figura 52.** Característiques del component PIC18F4550 (Font: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>)

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-Bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EUSART	Comparators	Timers 8/16-Bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master I <sup>2</sup> C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

Figura 53. Dades principals del PIC18F4550 (Font: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>)

Més enllà, el fet que aquest dispositiu disposi d'un PWM, permet la possible simulació d'un tot o res pel control de temperatura en el prototip, configurant el mòdul CCP1 en mode PWM.

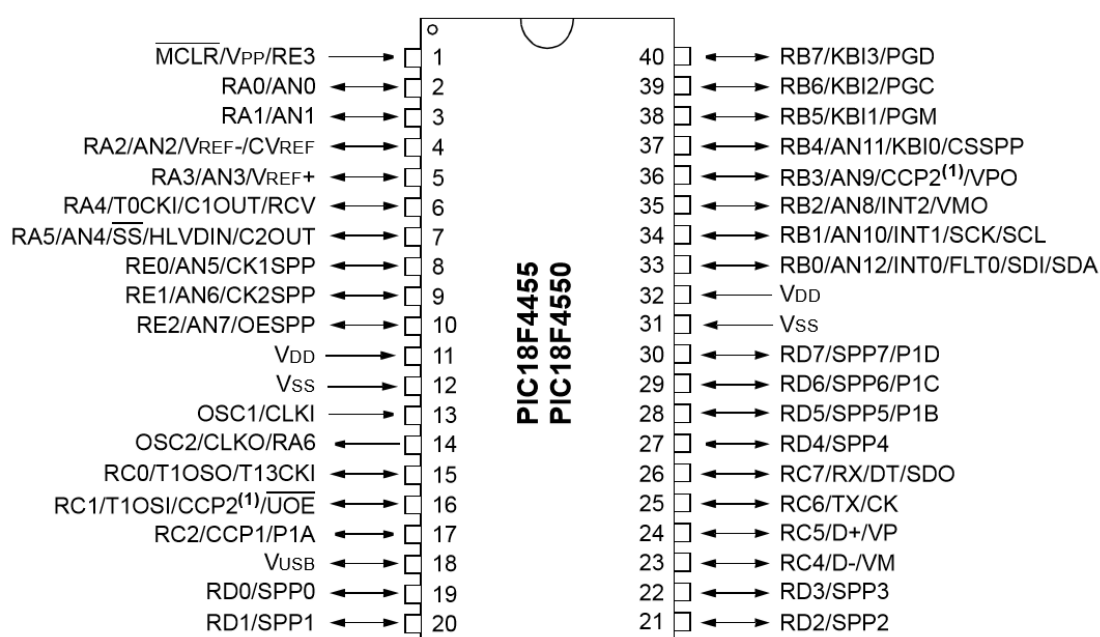


Figura 54. Disposició dels pins del microcontrolador (Font: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>)



## Teclat matricial

En aquest teclat 4x3, serà suficient que hi circulin 20 mA i es connectarà al port D del microcontrolador, el qual té resistències pull-up.

Els pins aniran connectats a un port del PIC i des d'aquests es controlaran les accions a fer, depenent de la tecla que s'hagi premut.

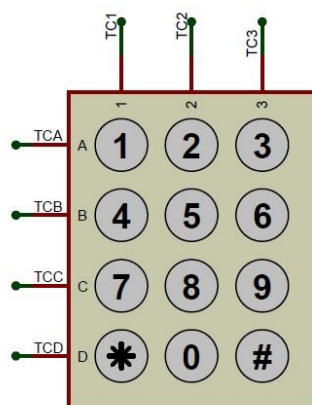


Figura 55. Esquema teclat hexadecimal (Font: pròpia)



Figura 56. Teclat hexadecimal, component (Font: [http://www.diotronic.com/teclado-matricial-blanco-3x4\\_30369/](http://www.diotronic.com/teclado-matricial-blanco-3x4_30369/))

PIN MATRICIAL	TECLAT PORT PIC
TC1	P19
TC2	P20
TC3	P21
TCA	P22
TCB	P27
TCC	P28
TCD	P29

**Taula 19.** Connexió dels pins del teclat matricial amb els corresponents ports del PIC (Font: pròpia)

### **Placa d'alimentació**

S'ha escollit un transformador de 230 V en el primari i 15 V en el secundari. Hi ha dos reguladors, per estabilitzar les dues alimentacions de +12 i +5 V, els quals tenen un díode de protecció entre la seva entrada i la seva sortida.

A la sortida de cada regulador, s'ha col·locat un LED amb una resistència, per demostrar visualment que està funcionant i arriba corrent a la placa. També s'ha afegit un fusible a cada bobinat per més seguretat, un al primari i un altre al secundari, protegint així de possibles curt-circuits.

Posteriorment de la sortida del secundari del transformador, hi ha un pont rectificador de díodes, per passar de CA (corrent alterna) a CC (corrent continua).

Per afavorir l'estabilitat de l'alimentació, hi ha dos condensadors en paral·lel a l'entrada dels dos reguladors. Un de 330  $\mu$ F i un altre de 330 nF. També s'ha posat un altre condensador a la sortida de cada regulador, del valor de 100 nF.

Càlculs:

$$I_{LED2} \rightarrow I_{LED2} = \frac{(V_{cc2} - V_{led})}{R} = \frac{(12-2) V}{680 \Omega} = \mathbf{14,7 mA} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$I_{LED1} \rightarrow I_{LED1} = \frac{(V_{cc1} - V_{led})}{R} = \frac{(5-2) V}{220 \Omega} = \mathbf{13,63 mA} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$I_1 \rightarrow P_1 = P_2; V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2; I_1 = \frac{(V_2 \cdot I_2)}{V_1} = \frac{15 V \cdot 1,33 mA}{230 V} = \mathbf{87 mA} \quad (\text{Eq. 4})$$

Per reduir la temperatura dels reguladors, s'han col·locat dos dissipadors de calor. A continuació es mostren els càlculs realitzats per trobar el valor d'aquests, considerant el cas més desfavorable que dissipï més potència, cosa que compleix el regulador de 5 V.

Dades principals:  $T_{j\text{ màx}} = 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ;  $T_{\text{amb}} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ;  $R_{th\text{ c-r}} = 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$  ;  $R_{th\text{ j-c}} = 3 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$

Primerament s'ha de calcular la potència que dissipa el regulador, tenint en compte la diferencia de potencial que hi cau i la intensitat que hi circula, mostrada a l'apartat 8.2 Consum placa:

$$\Delta V = V_{\text{transformador}} - V_{\text{regulador}} = 15 \cdot \sqrt{2} - 5 = \mathbf{16,21 V} \quad (\text{Eq. 5})$$

$$P_m = I \cdot \Delta V = 0,47 \cdot 16,21 = \mathbf{7,62 W} \quad (\text{Eq. 6})$$

Posteriorment es procedeix a calcular la resistència màxima total entre el regulador i l'ambient ( $R_{th\text{ j-a max}}$ ):

$$T_{j\text{ màx}} - T_{\text{amb}} = R_{th\text{ j-a}} \cdot P_m ; \quad (\text{Eq. 7})$$

$$R_{th\text{ j-a max}} = \frac{T_{j\text{ màx}} - T_{\text{amb}}}{P_m} = \mathbf{15,75 \text{ }^{\circ}\text{C/W}}$$

Finalment es troba el valor de la resistència màxima del dissipador:

$$R_{th\ j-a\ max} > R_{th\ j-c} + R_{th\ c-r} + R_{th\ r} ; \quad (Eq. 8)$$

$$R_{th\ r} < R_{th\ j-a\ max} - R_{th\ j-c} + R_{th\ c-r} ;$$

$$R_{th\ r} < 15,75\ ^\circ C/W - 3\ ^\circ C/W + 0,5\ ^\circ C/W ;$$

$$R_{th\ r} < 12,25\ ^\circ C/W \quad (Eq. 9)$$

S'ha col·locat un fusible de 100 mA en el primari, per protegir el fusible intern del transformador, el qual és de 125 mA. Al secundari s'ha posat un de 800 mA, ja que el consum màxim de la placa controladora no arriba a 0,5 A, dada extreta de la Taula 20. Consums dels components del prototip (Font: pròpia)

El transformador que s'ha fet servir es de 20 VA, ja que era suficient per alimentar les càrregues de la placa.

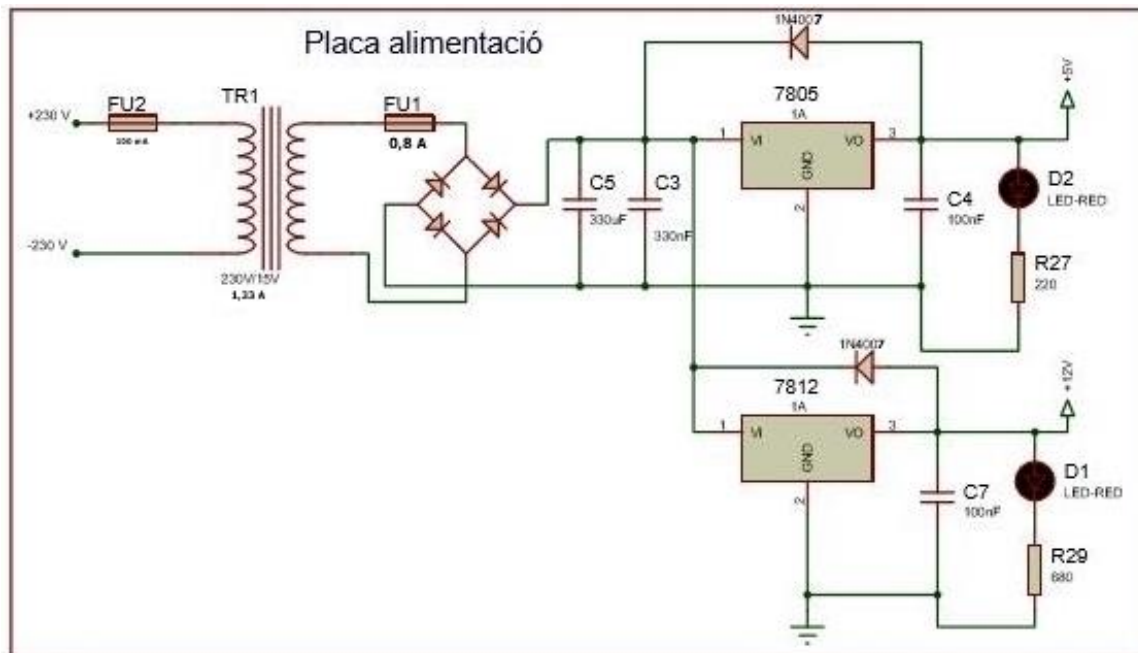


Figura 57. Esquema placa alimentació (Font: pròpia)

## Display LCD

S'ha triat un display LCD alfanumèric per fer més visual i entenedor el que succeeix a cada moment en la placa.

Les seves connexions són les següent:

Pin	Symbol	I/O	Description
1	VSS	-	Ground
2	VCC	-	+5V power supply
3	VEE	-	Power supply to control contrast
4	RS	I	RS=0 to select command register, RS=1 to select data register.
5	R/W	I	R/W=0 for write, R/W=1 for read
6	E	I/O	Enable
7	DB0	I/O	The 8 bit data bus
8	DB1	I/O	The 8 bit data bus
9	DB2	I/O	The 8 bit data bus
10	DB3	I/O	The 8 bit data bus
11	DB4	I/O	The 8 bit data bus
12	DB5	I/O	The 8 bit data bus
13	DB6	I/O	The 8 bit data bus
14	DB7	I/O	The 8 bit data bus

Figura 58. Connexionat Display (Font: <http://fpgacenter.com/examples/characterLcd/index.php>)

S'ha alimentat a 5 V i s'ha posat un potenciòmetre de 5 k $\Omega$  pel control de la lluminositat. Els pins del D4 al D7 seran els receptors d'informació del microcontrolador, mentre que els pins del D0 al D3 s'han connectat a terra perquè no es feien servir. Amb això es fa un ús del display en mode de 4 bits.

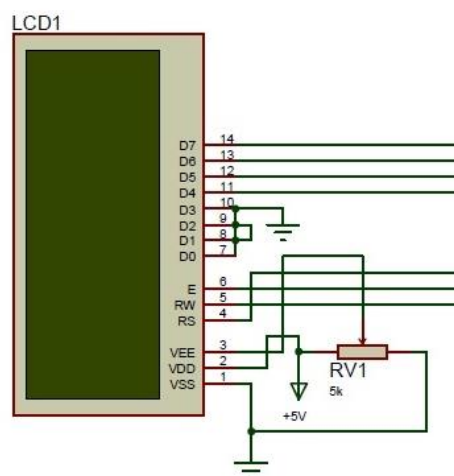


Figura 59. Esquema display (Font: pròpia)



Figura 60. Display (Font: [http://www.diotronic.com/display-lcd-2x16-led-verde\\_26356/](http://www.diotronic.com/display-lcd-2x16-led-verde_26356/))

## CONTROL DE TEMPERATURA

### Sensor temperatura

Pel control de temperatura, s'ha seleccionat el sensor LM35, el qual té una sensibilitat de 0,5 °C i dona una tensió de sortida de 10 mV/°C.

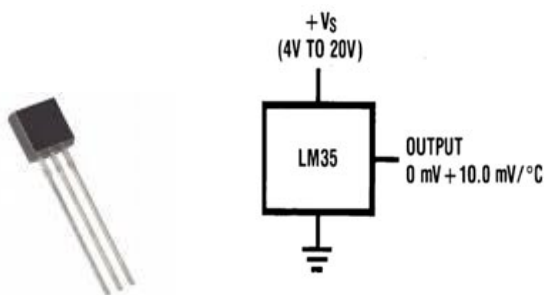


Figura 61. Esquema i component del sensor LM35 (Font: <http://www.sunrom.com/p/lm35-temperature-sensor-analog-out>)

### Resistència calefactora

A l'hora de triar aquesta resistència pel prototip de proves, s'ha calculat experimentalment amb diferents elements resistius, partint de que l'alimentació és de 12 V màxim. Finalment s'ha trobat que amb una resistència de 82 Ω, ja s'escalfava prou com per que l'LM35 detectés una variació de temperatura considerable.

Al ser de 4 W la potència màxima, s'ha calculat, com es pot veure a continuació, que no sobrepassés aquest límit. El seu corrent seria de 0,147 A.

$$P_{\text{resistència}} = V_{cc} \cdot I = \frac{V_{cc}^2}{R} = \frac{12^2}{82} = 1,76 \text{ W} \quad (\text{Eq. 10})$$



**Figura 62.** Resistència calefactora (Font: [http://www.diotronic.com/43720-resis-82h-4w-10-6x6x25\\_15925/](http://www.diotronic.com/43720-resis-82h-4w-10-6x6x25_15925/))

Pel control d'aquesta resistència, s'ha utilitzat un relé de 12 V d'alimentació amb un corrent màxim de 5 A protegit amb un díode i activat amb un transistor d'unió bipolar 2N5551.

$$I_c = \frac{V_{cc2} - V_{CE}}{R_{\text{bobinat}}} = \frac{12 \text{ V} - 0,2 \text{ V}}{720 \Omega} = \mathbf{16,4 \text{ mA}} \quad (\text{Eq. 11})$$

$$R_{bQ} \leq \frac{(V_{cc1} - 0,7)}{I_b} = \frac{(5 - 0,7)}{(I_c / \beta_{\text{mín}})} = \frac{4,3 \text{ V} \cdot 30}{16,4 \text{ mA}} \leq \mathbf{7,87 \text{ k}\Omega} \quad (\text{Eq. 12})$$



**Figura 63.** Relé (Font: <http://www.audiophonics.fr/relais-pour-pcb-fujitsu-jv12skt-simple-contact-p-6706.html>)

Per comprovar que circula corrent per la resistència calefactora, s'ha col·locat un LED, el qual té un corrent màxim permès de 20 mA.

Segons el *datasheet*, l' $V_{OH}$  és la tensió de sortida del pic, la qual equival a la d'alimentació menys 0,7 V. La intensitat que circula pel díode LED és:

$$I_c = \frac{(V_{OH} - V_{LED})}{R_{LED}} = \frac{(V_{cc1} - 0,7 - 2)}{220} = \frac{(5 - 0,7 - 2) \text{ V}}{220 \Omega} = \mathbf{10,45 \text{ mA}} \quad (\text{Eq. 13})$$



**Figura 64.** LED resistència calefactora (Font: [http://www.tech-tins.co.uk/details\\_page.php?id=tt32&catid=4](http://www.tech-tins.co.uk/details_page.php?id=tt32&catid=4))

A continuació es mostra la part del circuit de control de temperatura.

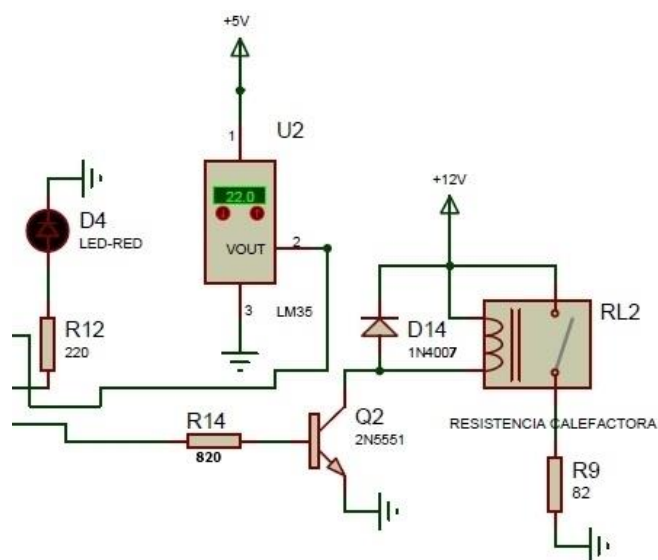


Figura 65. Esquema control de temperatura (Font: pròpia)

### Oscil·lador extern

Per poder tenir una resposta més ràpida en el microcontrolador PIC, s'ha afegit un oscil·lador extern de cristall de quars de 20 MHz amb dos condensadors connectats com es mostra a continuació. El valor dels condensadors s'ha triat de 22 pF per la recerca feta sobre oscil·ladors en PIC's, ja que el *datasheet* del cristall de quars, deia un valor calculat, però no provat, de 15 pF.

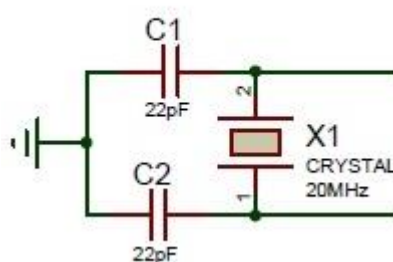


Figura 66. Esquema oscil·lador extern (Font: pròpia)

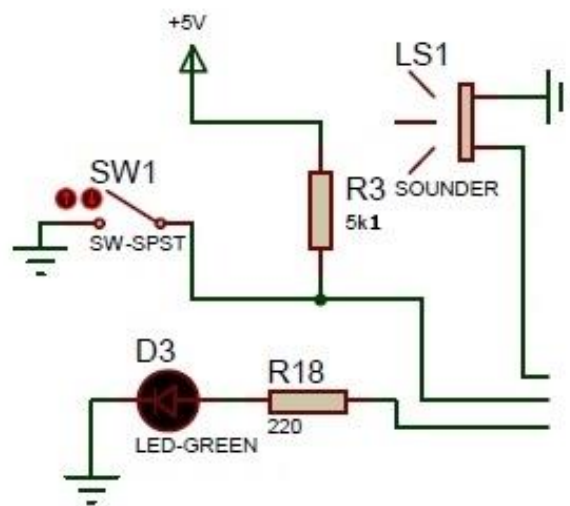


### Sensor interruptor alarma (Brunzidor)

En aquesta part de la placa, hi ha un interruptor per donar l'avís d'alarma i un bronzidor per simular la sirena. A més a més s'ha col·locat un LED amb una resistència de 220  $\Omega$ .

Per l'interruptor, s'ha triat una configuració de resistència pull-up, així el PIC estarà rebent sempre un '1' lògic i, quan es tanqui l'interruptor, rebrà un '0' lògic, sent aquest l'avís d'alarma. El bronzidor va directament connectat al microcontrolador, ja que té una resistència interna i el seu corrent màxim és de 10 mA, el qual no supera el màxim del PIC (25 mA).

$$R_{\text{pull-up}} = \frac{V_{cc1}}{I} = \frac{5V}{1mA} = 5k\Omega = \mathbf{5,1k\Omega} \text{ (valor comercial)} \quad (\text{Eq. 14})$$



**Figura 67.** Esquema sistema d'alarma: LED alarma i bronzidor (Font: pròpia)

### LED's (il·luminació)

En aquest apartat de la placa, s'han connectat els LED's a +12 V, ja que amb 5 V que donava el PIC no era suficient, a causa de que el LED té un consum aproximat de 2 V. Arran això, ha sigut necessari un transistor, el qual té una resistència de base de 6,2 kΩ.

$$I_{LED} = \frac{(V_{cc2} - (2 \cdot 3 \cdot V_{LED's}) - V_{ce sat})}{390} = \frac{(12 - 6 - 0,2) V}{390 \Omega} = 14,87 mA \quad (\text{Eq. 15})$$

$$R_{B max} = \frac{(V_{oh} - V_{be sat})}{I_b} = \frac{(V_{cc1} - 0,7 - V_{be sat})}{(I_c / \beta_{min})} = \frac{(5 - 0,7 - 1) V}{(14,87 mA / 30)} = 6.657,7 \Omega \quad (\text{Eq. 16})$$

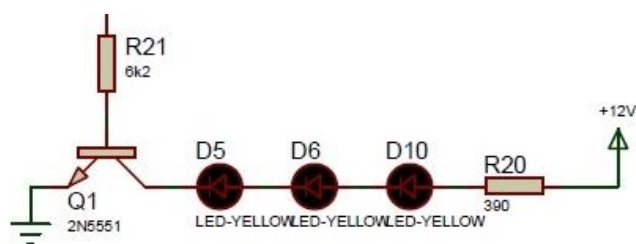


Figura 68. Esquema LED's d'enlluernament (Font: pròpia)

### Interruptors (pull-up's)

Per simular que s'ha deixat oberta una persiana o la porta sense tancar amb clau, s'han inclòs dos interruptors en configuració de resistències de pull-up. El valor de les resistències, ja han sigut calculades anteriorment en l'(Eq. 9).

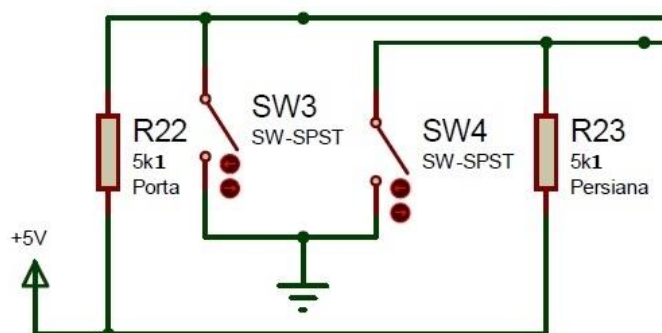


Figura 69. Interruptors representatius de la porta i persiana (Font: pròpia)

## Sensor llum (LDR)

A l'hora de detectar si hi ha llum o no, s'ha utilitzat una resistència variable amb la llum (LDR). Per la lectura del senyal, s'ha muntat un divisor de tensió amb una resistència de 10 kΩ.

Quan hi hagi llum, el LDR tindrà el valor de 2 kΩ i quan sigui fosc serà superior a 2 MΩ. Tenint en compte que l'  $V_{IH}$  del PIC són 2 V:

$$V_{\text{pin PIC clar}} = V_{5V} \cdot \left( \frac{R_1}{R_1 + R_{\text{LDR}}} \right) = 5 \cdot \left( \frac{10.000}{10.000 + 2.000} \right) = 4,17 \text{ V ('1' lògic)} \quad (\text{Eq. 17})$$

$$V_{\text{pin PIC fosc}} = 5 \cdot \left( \frac{10.000}{10.000 + 2.000.000} \right) = 24,88 \text{ mV ('0' lògic)} \quad (\text{Eq. 18})$$

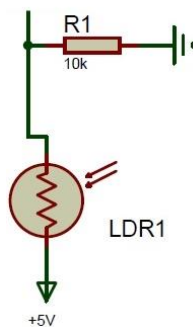


Figura 70. Esquema del sensor de llum, LDR (Font: pròpia)

## Optoacoblador

Per representar el detector de presència, s'ha utilitzat un optoacoblador, el qual dóna sempre un '0' lògic, excepte quan es posa un objecte entre el fototransistor i el fotodíode. És llavors quan el PIC rep un '1' lògic. El corrent màxim del díode LED és de 50 mA i el del fototransistor és de 30 mA.

S'ha escollit una resistència comercial de 330 Ω i una altra de 10 kΩ.

$$R_{\text{Díode}} = \frac{(V_{cc1} - V_f)}{I_f} = \frac{(5 - 1,6)}{10 \text{ mA}} = 340 \Omega \quad (\text{Eq. 19})$$

$$I_{Rt} = \frac{V_{cc1}}{R_t} = \frac{5}{10.000} = 0,5 \text{ mA} \quad (\text{Eq. 20})$$

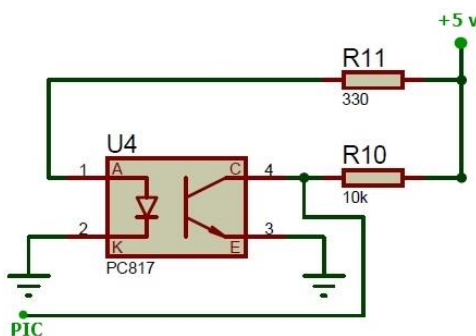


Figura 71. Esquema optoacoblador (Font: pròpia)

## Reset

Per restablir el microcontrolador, s'ha escollit un pulsador anti-rebots amb el *reset* nivell baix ('0' lògic). El condensador és l'encarregat d'evitar rebots a l'hora de pitjar el pulsador. Quan es polsi, el corrent anirà cap a terra, deixant l'entrada del pin a '0' lògic i restablint així el PIC. La resistència de 470  $\Omega$  s'ha posat per evitar un pas de corrent per sobre de 80 mA del pin del PIC cap a terra, tal com recomanava el *datasheet* del microcontrolador.

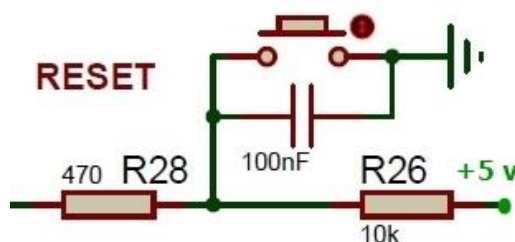


Figura 72. Esquema del reset (Font: pròpia)

## Bluetooth

Per fer la placa més polivalent, s'ha fet ús d'un mòdul de recepció i enviament de dades mitjançant el sistema *Bluetooth*, el qual es farà servir per comunicar la placa amb un mòbil. Amb aquest instrument es permet controlar el prototip en certs aspectes.

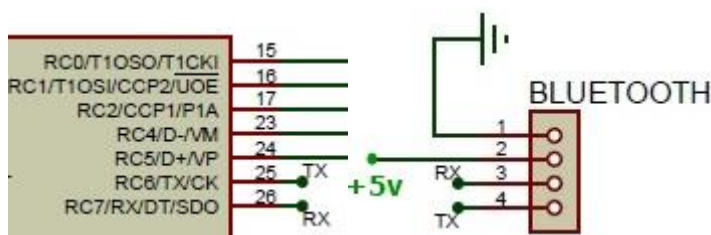


Figura 73. Esquema del connexionat del sistema Bluetooth (Font: pròpia)

A continuació es mostra l'esquema complet de la placa prototip d'aquest projecte.

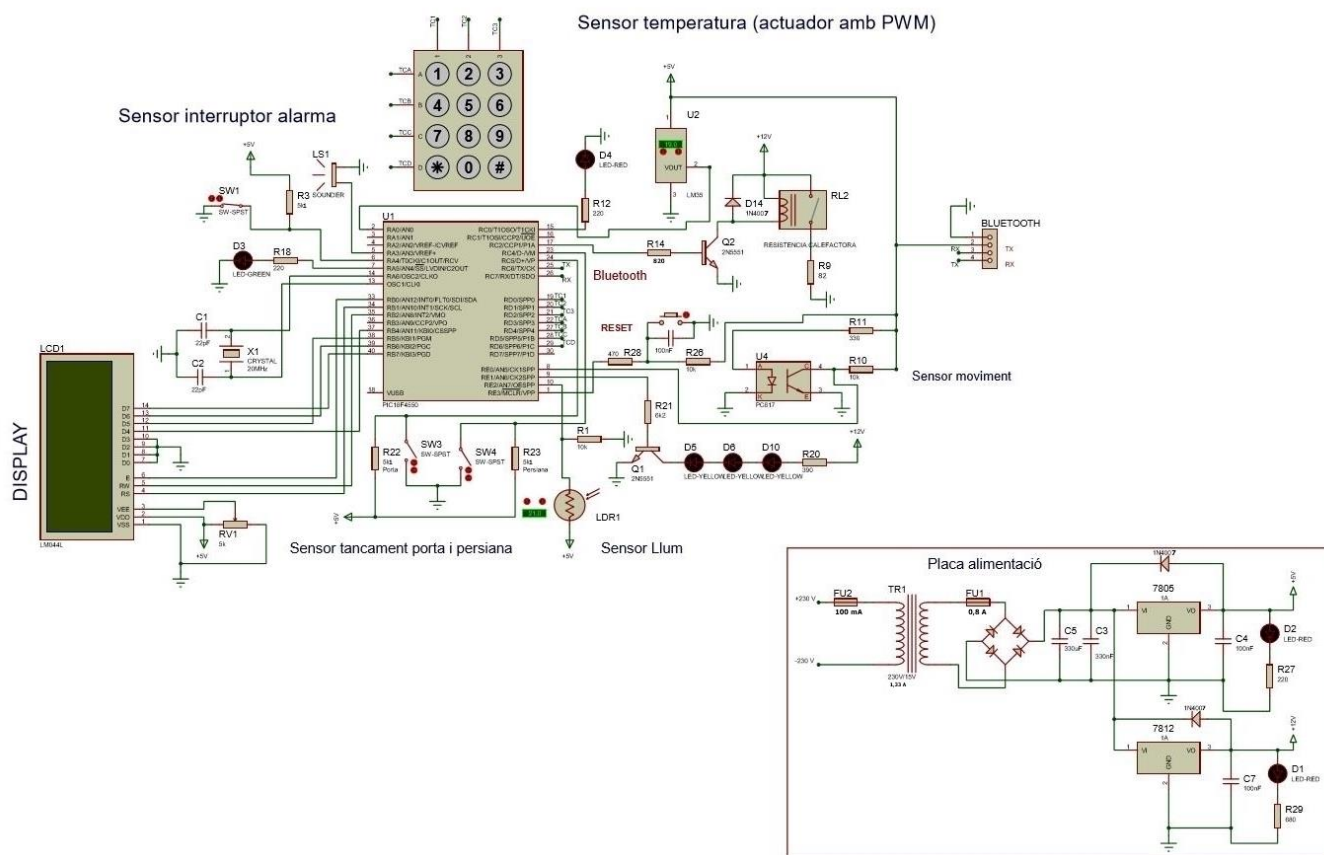


Figura 74. Esquema complet del prototip (Font: pròpia)

Seguidament es mostren dues imatges de la maqueta del prototip de proves.

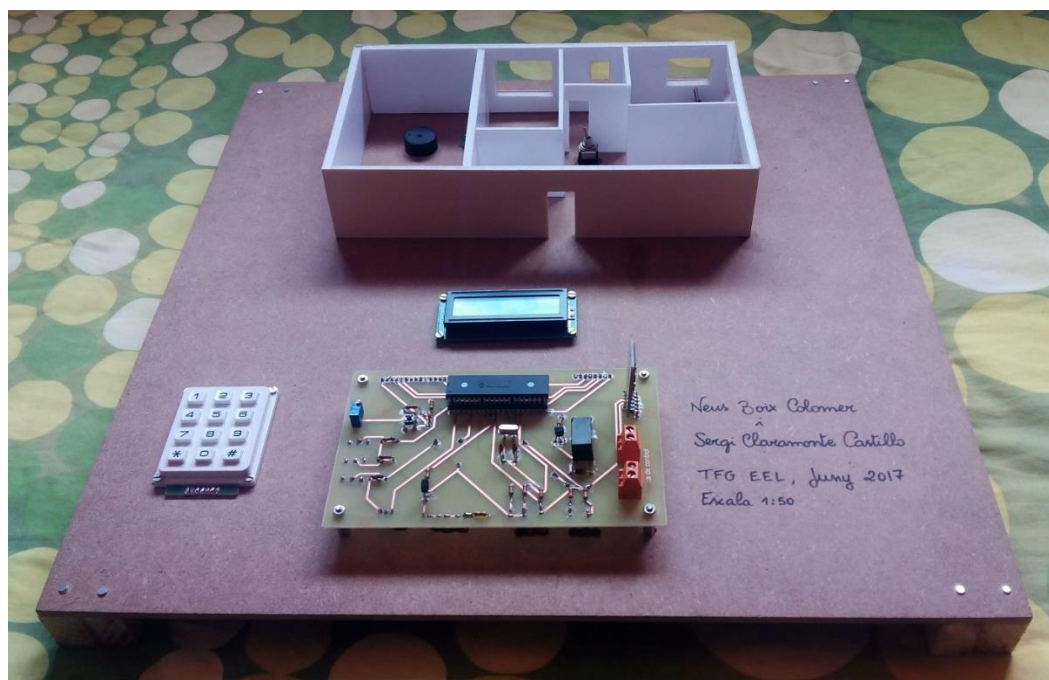


Figura 75. Imatge de la maqueta del prototip de proves (Font: pròpia)

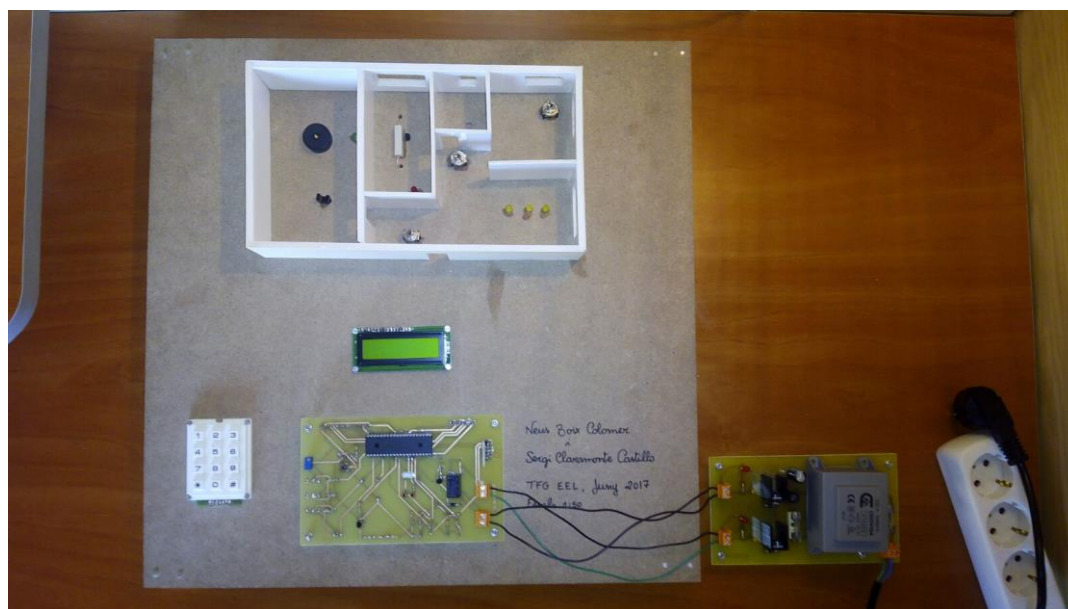


Figura 76. Imatge de la maqueta vista de planta (Font: pròpia)

## 8.2. Consum placa

A continuació es presenta una taula amb tots els components del prototip amb els seus consums respectius:

COMPONENTS	CONSUM (mA)
LCD	150
LEDS	28,35
LEDS	14,87
TRANSISTOR	0,5
<b>TOTAL IL·LUMINACIÓ</b>	<b>15,37</b>
LED	10
FOTOTRANSISTOR	0,5
<b>TOTAL OPTOACOBLLADOR</b>	<b>10,5</b>
LM35	0,06
RESISTENCIA CALEFACTORA	147
LED	10,45
Ic (TRANSISTOR)	16,67
Ib (TRANSISTOR)	0,56
<b>TOTAL TEMPERATURA</b>	<b>174,74</b>
BRUNZIDOR	10
Rpull up	1
LED	10,45
<b>TOTAL ALARMA</b>	<b>21,45</b>
BLUETOOTH	50
Teclat	20
Interruptors pull up	2
Reset	0,48
Sensor llum	0,4
<b>TOTAL</b>	<b>473,29</b>

Taula 20. Consums dels components del prototip (Font: pròpia)

Alguns components del prototip s'alimenten directament de la placa d'alimentació i els altres ho fan a través del PIC. A la taula 20. es mostra el consum de total de tots ells.

En aquesta taula es representen els consums d'aquells dispositius que van connectats al microcontrolador:

COMPONENTS	CONSUM (mA)
Teclat	20
Interruptors pull up	2
Il·luminació (transistor)	0,5
Optocobrador (total)	10,5
Temperatura (LM35, LED, Ib)	11,07
Alarma (total)	21,45
Sensor llum	0,4
Reset	0,48
<b>TOTAL</b>	<b>66,4</b>

**Taula 21.** Consums dels dispositius alimentats pel microcontrolador (Font: pròpia)

Tal com es pot apreciar, es respecten els consums màxims dels reguladors i del PIC. Els reguladors poden donar fins a 1 A cadascun i el transformador fins a 1,33 A. El corrent total que subministra el transformador és de 473,29mA, sent més baix que el màxim que pot donar juntament amb els reguladors.

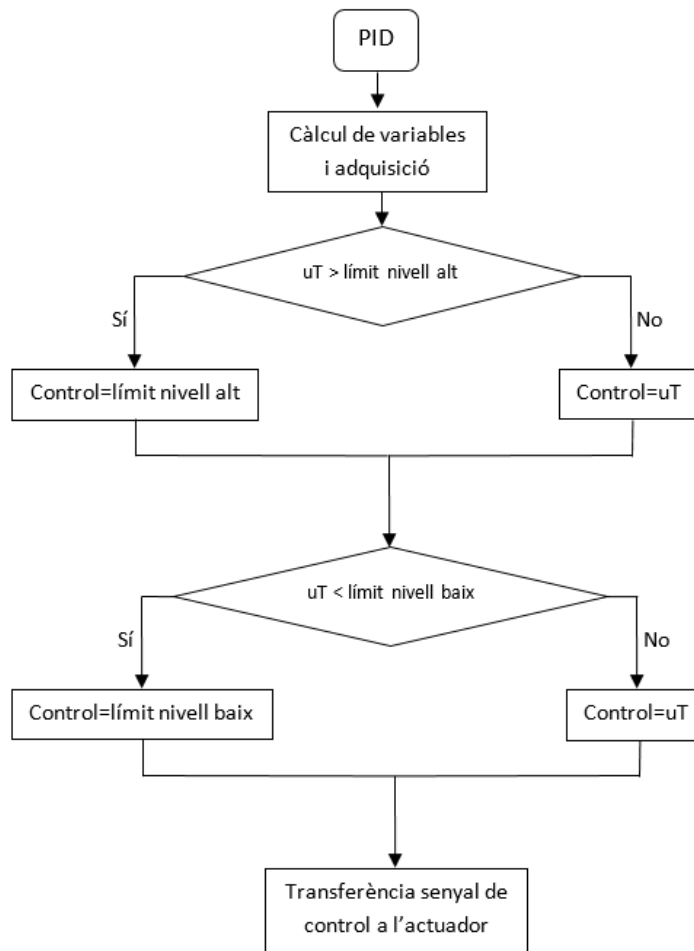
El PIC 18f4550 en canvi, pot donar fins un total de 250 mA per les seves sortides i rebre 300 mA per les entrades. Consum el qual, l'agafa de la placa d'alimentació, composta pel transformador i els dos reguladors. El nostre consum total en el circuit per part del PIC és de 66,4mA, complint així les característiques elèctriques del microcontrolador.

Una altra dada a tenir en compte, és que cada sortida/entrada del PIC té un corrent màxim de 25 mA. Aquest límit també es compleix.



## 9. Programa (software)

**Funció:** PID (línia 68 a 82)



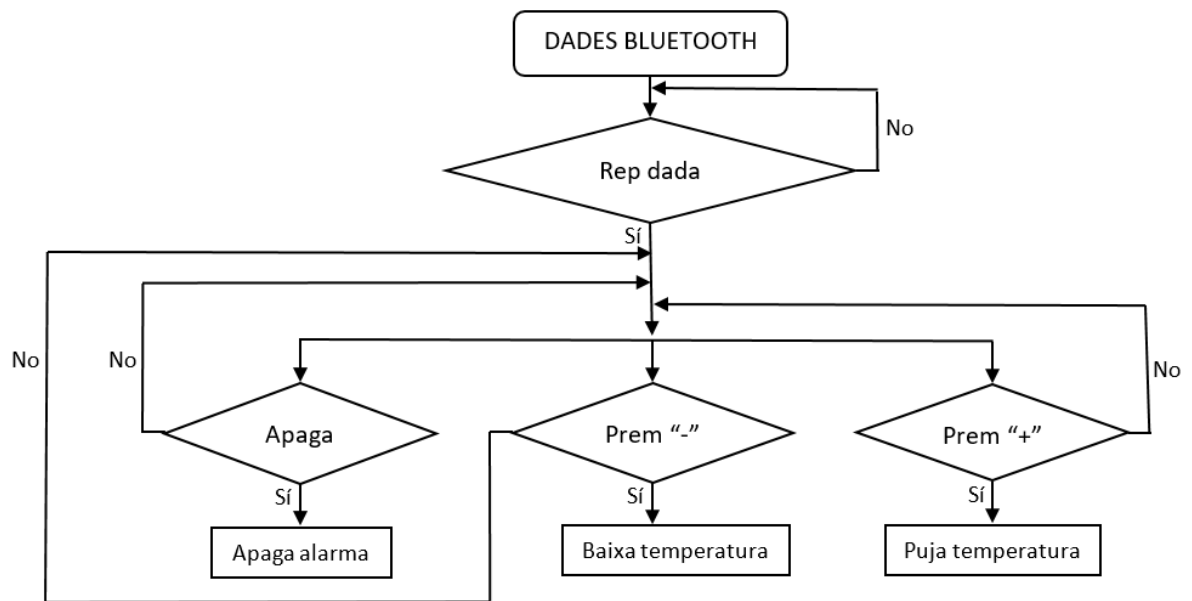
**Figura 77.** Diagrama de blocs del PID (Font: pròpia)

El primer pas de la funció del PID, és la configuració dels paràmetres del model de temperatura, calculant així els diferents valors d'aquests: p (proporcional), i (integrador) i d (derivatiu).

Al final d'aquests càlculs, està el del senyal de control ( $uT$ ), el qual si és més gran que un límit màxim (Lim alt (Max)=1000) o menor que un límit mínim (Lim baix(Min)=0), se li assigna el valor d'aquest límit.

Si no es supera cap d'aquests límits, s'envia directament el senyal de control a l'actuador per a què envii més o menys intensitat de senyal, mitjançant el PWM del microcontrolador.

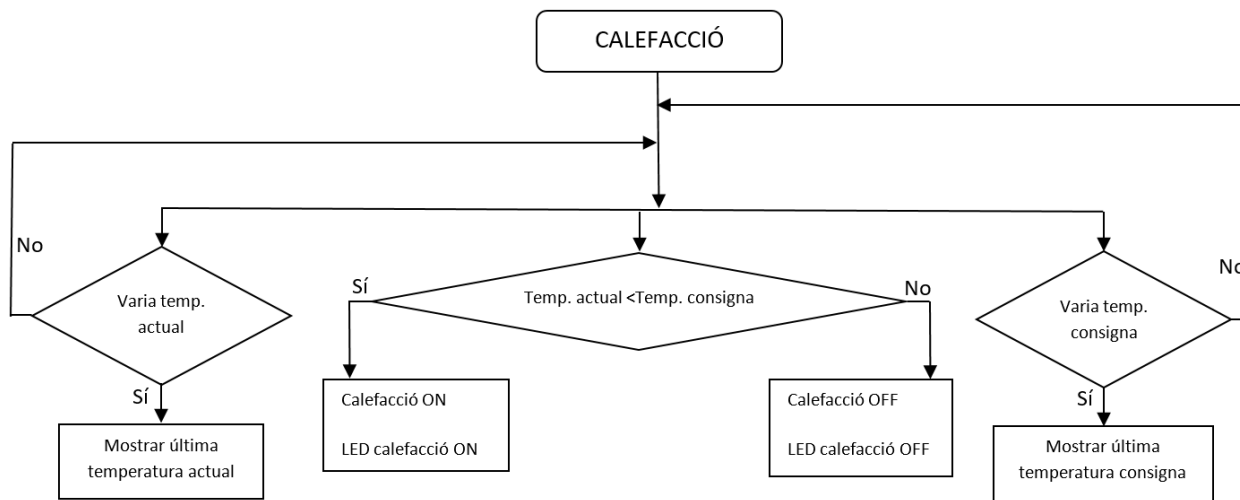
Per acabar, si es supera algun dels límits com s'ha comentat anteriorment, el valor assignat és el límit mateix, el qual s'envia com a senyal a través del PWM del PIC.

**Funció: Rebre dades del Bluetooth** (línia 88 a 96)

**Figura 78.** Diagrama de blocs de l'obtenció de dades del Bluetooth (Font: pròpia)

Si el Bluetooth rep una dada, es mira quin valor té i segons el que sigui, es baixa o puja la temperatura o s'apaga l'alarma. Aquestes dades s'envien des d'una aplicació de mòbil que té tres botons i cada un té assignat un valor que s'envia quan es polsa aquell botó.

**Funció: Sistema calefacció** (línia 97 a 110)



**Figura 79.** Diagrama de blocs del sistema de calefacció (Font: pròpia)

El sistema d'encendre la calefacció, es basa en comprovar si ha hagut una variació de temperatura de consigna i si aquesta és més alta que la temperatura actual, llavors s'encendrà la calefacció i el seu LED corresponent.

Per altra banda, si la temperatura actual ha variat, es mostrarà pel LCD. El mateix succeeix amb la temperatura consigna, la qual si es varia, es mostrarà pel LCD. En aquest cas, la temperatura de consigna predeterminada és de 23 °C.

Cal dir, que dins d'aquest procés, juguen quatre variables: "temp2" i "tempaux", les quals fan referència a la temperatura de consigna; "aux" i "temp", que serveixen per guardar i mostrar la temperatura, en graus, actual.

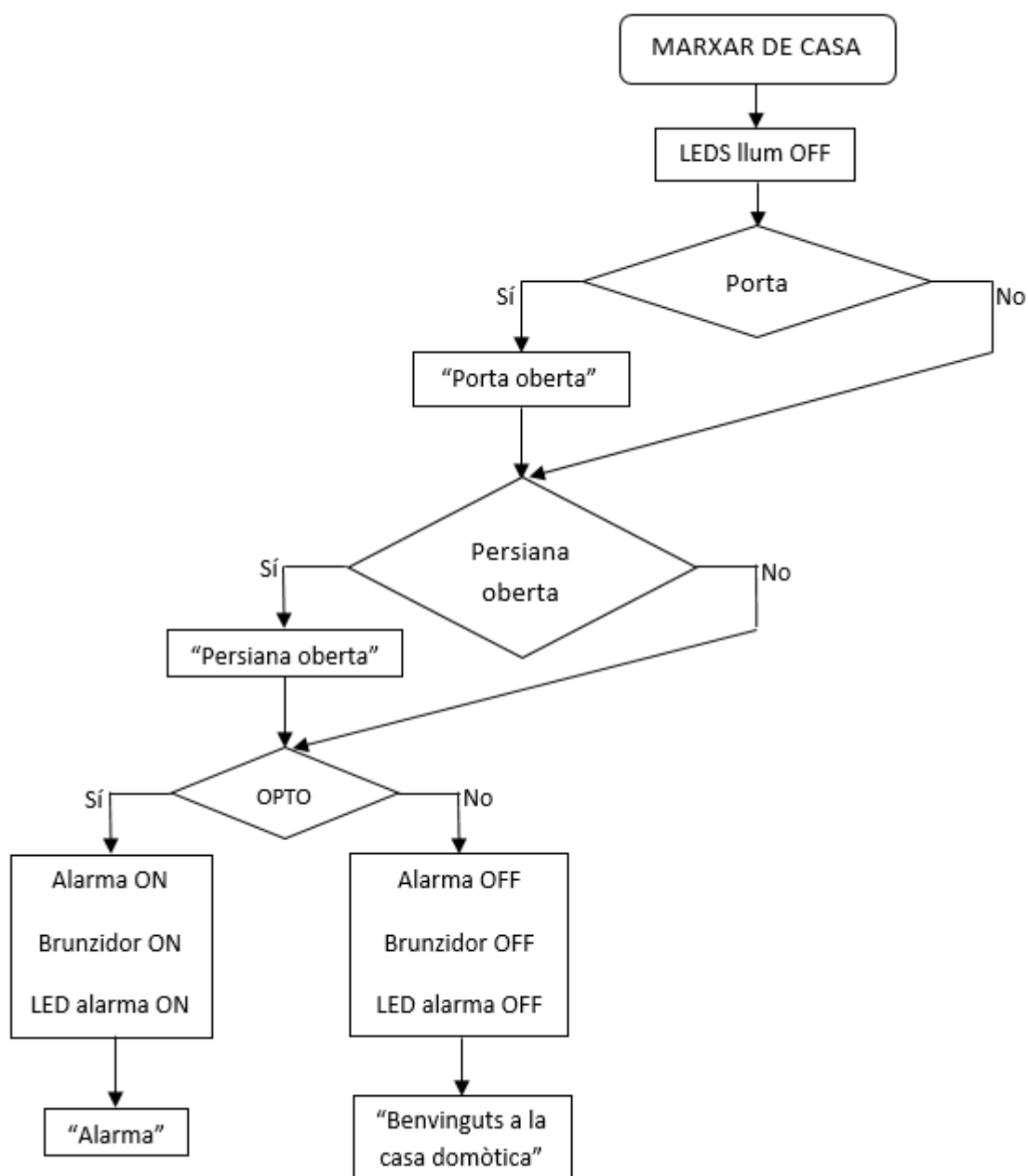
A l'hora de llegir el valor de la temperatura a través del sensor LM35, s'ha tingut en compte la sensibilitat que proporciona aquest i la següent fórmula:

$$T^a = \frac{V_{cc}}{2^n - 1} \cdot \text{Sensibilitat} \cdot \text{Voltatge LM35} = \frac{5}{2^{10} - 1} \cdot 100 \cdot \text{Voltatge LM35};$$

$$T^a = 0,4887 \cdot \text{Voltatge LM35} \quad (\text{Eq. 21})$$

Sent:

- $V_{cc} = 5 \text{ V}$
- $n = 10$
- Sensibilitat = 1°C/10 mV = 100

**Funció: Marxar de casa** (línia 111 a 126)

**Figura 80.** Diagrama de blocs de la situació: usuari fora de casa (Font: pròpia)

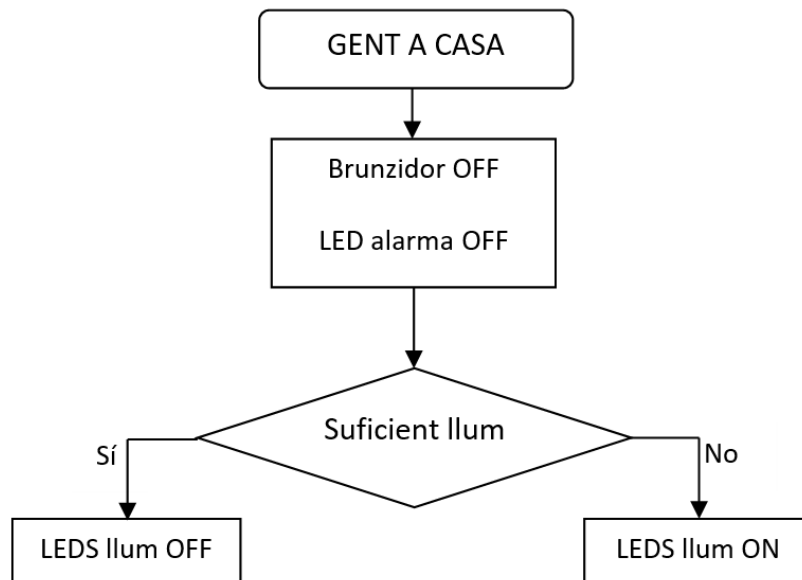
En la situació que es marxi de casa (SW1, interruptor obert, '0'), s'apaguen els llums. Si la porta està oberta (SW3, interruptor obert, '0'), es mostra en l'LCD "Porta oberta". En el cas que sigui la persiana que no està tancada (SW4, interruptor obert, '0'), la pantalla mostra "Persiana oberta".

Per altra banda, el sistema d'alarma s'activa quan l'optoacoblador detecta presència. Arran d'això, s'activa el brunzidor i el LED verd que corrobora que l'alarma ha sigut activada.

En cas que el mòbil envii senyal d'apagar alarma, aquesta serà apagada, però si segueix detectant presència, l'alarma es tornarà a activar. Si no detecta presència, l'alarma es mantindrà apagada.

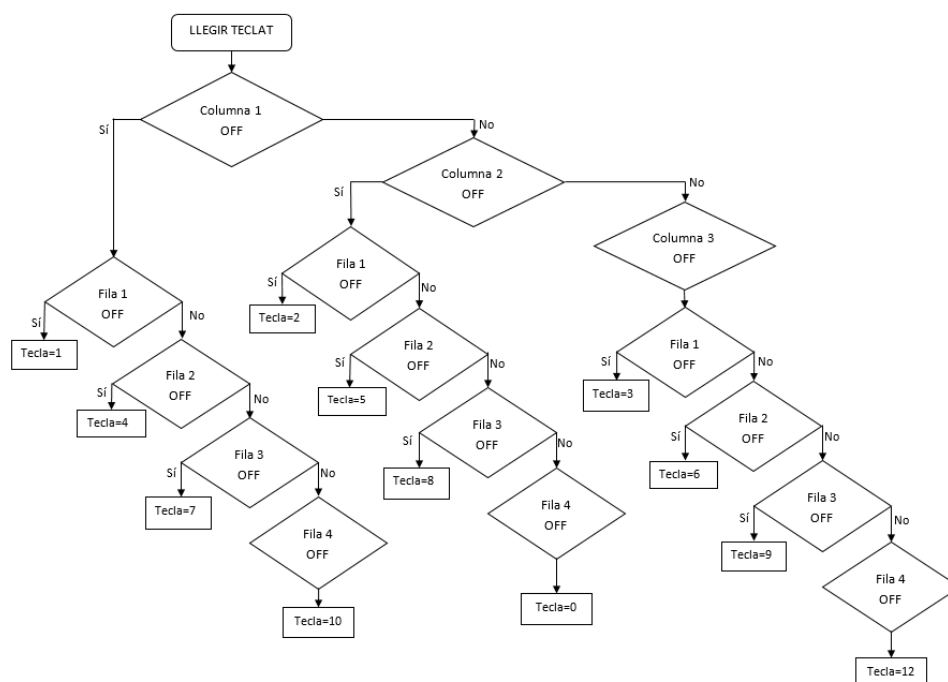
Finalment, si no hi ha hagut cap intrusió i no s'ha deixat ni la porta ni la persiana oberta, es troben desactivats tots els avisos i l'alarma, i l'LCD mostra "Benvinguts a la casa domòtica".

**Funció: Quedar-se a casa** (línia 128 a 143)



**Figura 81.** Diagrama de blocs de la situació: usuari dins de casa (Font: pròpia)

Donada la situació, que hi hagi gent a casa (SW1, interruptor tancat, '1'), tant el brunzidor com el LED verd romanen tancats. Si el LDR, sensor que detecta intensitat lluminosa, rep poca intensitat de llum ('0'), s'activen els llums d'enlluernament i l'LCD mostra "Llums enceses". En el cas contrari els LED estaran desconnectats.

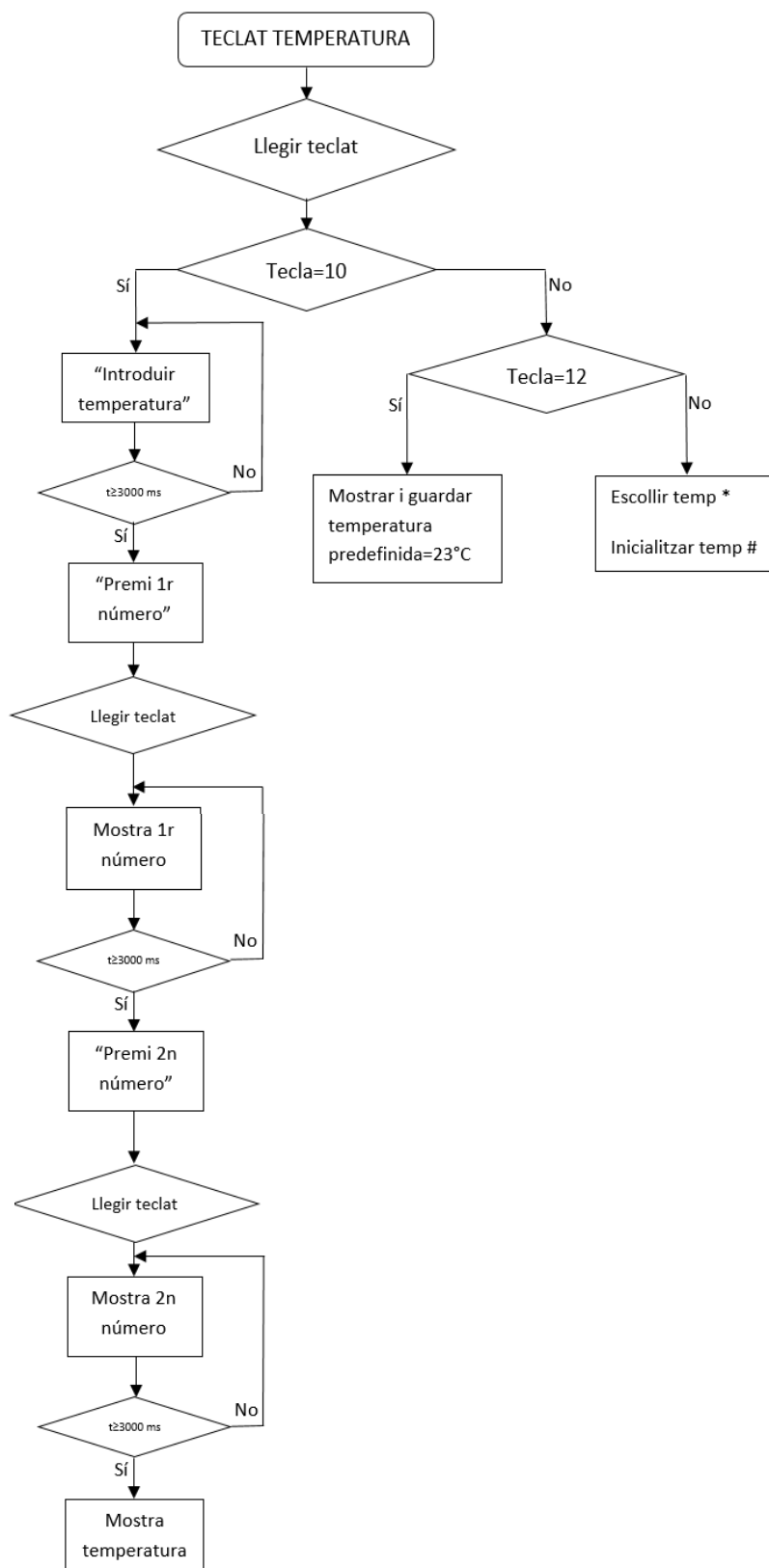
**Funció: Llegir teclat** (línia 145 a 169)**Figura 82.** Diagrama de blocs de la lectura del teclat (Font: pròpia)

La funció del teclat hexadecimal (3 columnes x 4 files) té un sistema molt simple d'operació. Primerament, es comprova quina de les columnes ha premut l'usuari. Dins d'aquestes es mira quina fila s'ha seleccionat. Finalment li afegeix el valor de la tecla premuda.

Primerament, s'activen les resistències de pull up als pins del microcontrolador on estan connectades les columnes del teclat. A l'inici es troben les columnes a '1' (degut a l'activació de les resistències de pull up internes del PIC) i les files es presenten "flotant" (ni '0' ni '1'). A partir d'aquí, es posa a '0' una columna (el pin del PIC corresponent a aquella columna): si una tecla d'aquesta columna es polsa, el pin d'aquella fila dins de la columna (per exemple: columna 1 fila 2 seria el número 4) es posarà a '0' també, i totes les altres tecles estaran flotant.

La funció del software és posar a '0' una columna, comprovar si hi ha alguna fila d'aquella columna a '0' i si n'hi ha, guarda el número de la tecla polsada. Aleshores torna a posar a '1' la primera columna i se'n va a la segona. Aquest procés es repeteix per les altres dos columnes.

**Funció: Teclat temperatura (línia 171 a 208)**



**Figura 83.** Diagrama de blocs del teclat amb al funcionalitat del control de temperatura  
(Font: pròpia)





En primer lloc, l'LCD mostra "Escollir Temp \*" i, per altra banda, "Restablir Temp #".

En el cas que es premi el "\*", s'entra a la funció d'introduir temperatura polsant el primer dígit i seguidament el segon. Per mostrar la temperatura final escollida, s'ha emprat la operació:  $\text{temp3} * 10 + \text{temp4}$ . Aquestes variables són auxiliars per mostrar definitivament el valor que es vol.

Si no es prem cap tecla després de determinar que es vol escollir una temperatura o bé es prem el "#", es mostrarà la pre-definida (23°C).

## 9.1. Programa i PIC

Es fa servir el programa Pickit2 versió 2.60. La interfície la qual té el següent aspecte:

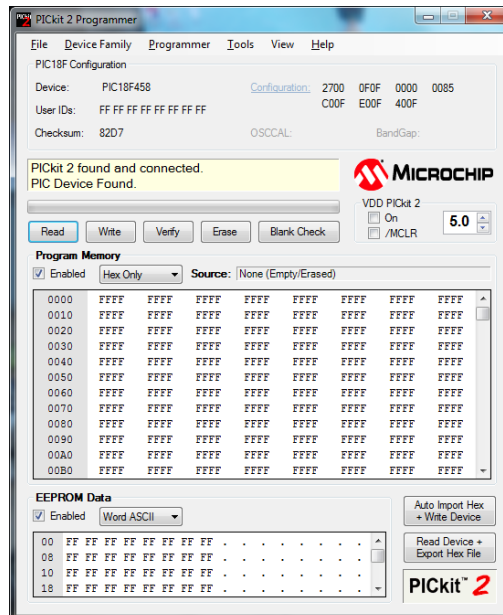


Figura 84. Interfície del Pickit2 (Font: <http://www.magics-notebook.com/pickit2.html>)

Per a programar el pic, s'ha de clicar a "Auto import hex + write device", se selecciona el fitxer compilat en c, el qual és un ".hex" i es clica acceptar. Un cop fet això, el programa de l'ordinador passa el codi al microcontrolador i ja està preparat per a fer servir en la placa.

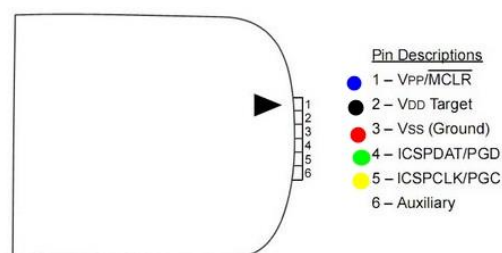
Per a connectar el PIC amb l'ordinador, es fa servir el següent dispositiu:



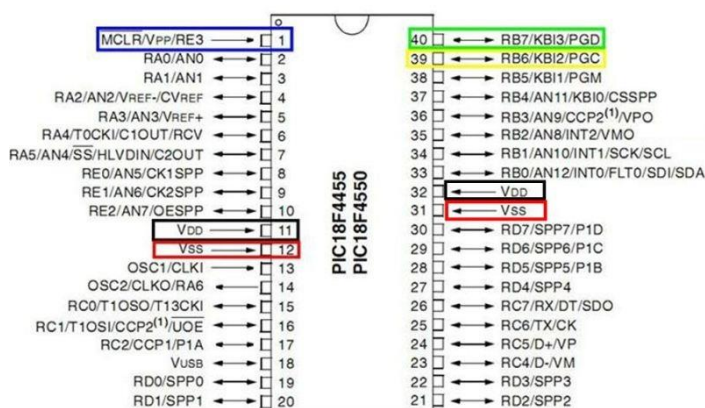
**Figura 85.** Dispositiu per connectar el PIC a l'ordinador (Font: <https://hobbystore.com.my/pickit-2-compatible.html>)

Aquest connecta amb l'ordinador a través del cable que s'observa, el qual disposa d'una sortida USB per endollar al PC.

L'altre sortida que té el dispositiu Pickit2 és la que es farà servir per connectar el microcontrolador, per on sortiran cables que es connectaran al PIC. Les connexions es mostren a continuació:

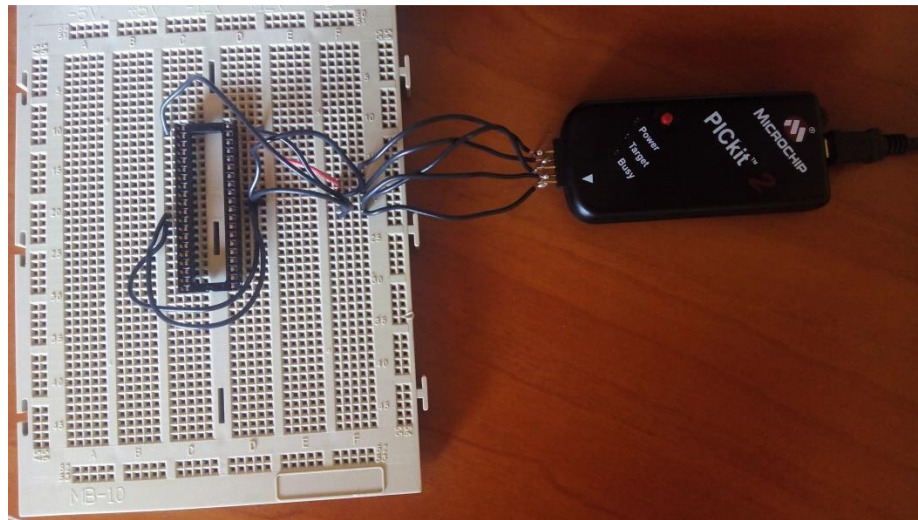


**Figura 86.** Connexionat de les sortides del Pickit2 amb els pins del microcontrolador (Font: [https://img.freeauctiondesigns.com/coolbassnik/pickit2/pickit\\_V3.0\\_pinout.png](https://img.freeauctiondesigns.com/coolbassnik/pickit2/pickit_V3.0_pinout.png))



**Figura 87.** Pins reservats del microcontrolador pel dispositiu Pickit2 (Font: <http://www.uaelectronics.com/forum/index.php?topic=203.15>)

Tot seguit es mostra el muntatge per a programar el PIC, explicat anteriorment.



**Figura 88.** Planta del muntatge per a programar el PIC (Font: Pròpia)



**Figura 89.** Alçat del muntatge per a programar el PIC (Font: Pròpia)

## 9.2. Bluetooth

Per ampliar la funcionalitat de l'equip, s'ha incorporat un mòdul de *Bluetooth* HC-05. A l'hora d'escollir-lo, s'han presentat tres classes diferents, en els quals s'ha seleccionat el 2, ja que té un abast de 10 metres i s'ha considerat que no era necessari un radi més gran que aquest.

Aquest mòdul incorpora una antena a través de la qual s'emet per radiofreqüència (a 2,4 GHz) i permet la transmissió de dades. El mateix mòdul converteix el senyal de transmissió sèrie RS-232, la qual es connecta als pins /RXD y /TXD del microcontrolador, per enviar i rebre dades. En el cas del *Bluetooth*, els paquets d'informació són de 8 bits (1 byte), tenint en compte que la velocitat d'1 byte per segon es defineix com 8 bps. El *Bluetooth* pot arribar fins els 3000 kbps: en aquest projecte, es treballa a 14.400 bps.

En referència al protocol de comunicació, la tecnologia sense fils *Bluetooth*, utilitza un radi curt d'abast capaç de suportar síncrons de comunicació per telefonia de veu i canals de comunicació asíncrons per comunicació de dades que operen en la banda lliure ISM. El protocol d'aquest dispositiu es basa en el protocol *master-slave*. El dispositiu mestre envia la instrucció i l'esclau respon. Un esclau no pot enviar una dada al dispositiu mestre sense que aquest li hagi enviat informació prèviament. En el cas d'aquesta aplicació, el dispositiu mòbil és el mestre, mentre que la placa és el dispositiu esclau.

Aquest component permet la interacció entre un dispositiu mòbil i l'equip: indicar quina temperatura es vol i/o apagar l'alarma s'ha activat. D'aquesta manera es regula la temperatura a gust de l'usuari (qui estigui en possessió del dispositiu mòbil).

Amb aquest tipus de comunicació s'ha volgut mostrar a petita escala, de manera pràctica, la utilitat de la domòtica en l'àmbit de la llar, recalcant el control eficaç que pot tenir un sistema com aquest.

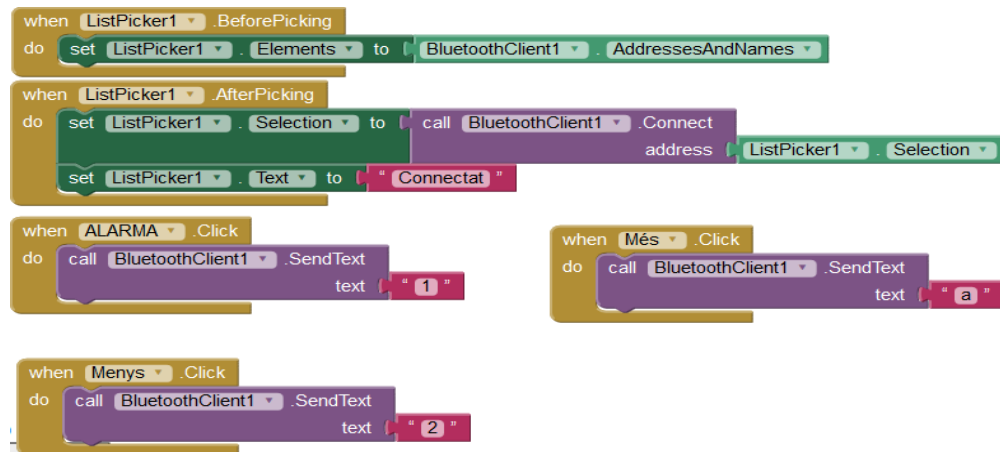


Figura 90. Programa configuració Bluetooth (Font: <http://ai2.appinventor.mit.edu/?locale=en#5887790150320128>)



Figura 91. Il·lustració aplicació pel dispositiu mòbil (Font: <http://ai2.appinventor.mit.edu/?locale=en#5887790150320128>)

## 10. Control de temperatura

En aquest apartat es presenta un desenvolupament extens de tots els passos realitzats i mètodes aplicats per portar a terme un control de temperatura per una habitació de 48 m<sup>3</sup>.

A continuació es fa un petit resum de les dos conceptes principals que sostenen la llei termodinàmica aplicada en aquest apartat: la llei de la conducció i convecció.

La primera es defineix com l'energia que es transmet en forma de calor com a conseqüència de les interaccions entre àtoms i molècules, encara que no existeixi transport dels mateixos. Per exemple, si es calenta un dels extrems d'una barra sòlida, els àtoms de la xarxa cristal·lina de l'extrem escalfat vibren amb més energia que els de l'extrem fred i degut a la interacció d'aquests àtoms amb els seus veïns, aquesta energia es transporta al llarg de la superfície.

Experimentalment es troba que el corrent tèrmic, és directament proporcional al gradient de temperatura i a l'àrea d'una secció recta A:

$$I = \frac{Q}{\Delta t} = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (\text{Eq. 21})$$

Sigui  $\Delta T$ : la diferència de temperatura entre els extrems d'un petit segment de longitud  $\Delta x$ .

Sigui Q: la quantitat de calor que es transmet per conducció al llarg d'aquesta longitud en un cert interval de temps  $\Delta t$ .

Sigui K: la constant de proporcionalitat denominada coeficient de conductivitat tèrmica o simplement conductivitat tèrmica i depèn únicament de la composició del material. Les seves unitats són: [W/(m<sup>2</sup>·K)].

La taxa de conducció de calor  $Q/\Delta t$ , es denomina corrent tèrmica I [W].

Si s'aïlla la diferència de temperatura a l'equació 21, s'obté:

$$\Delta T = I \cdot \frac{\Delta x}{k \cdot A} \quad (\text{Eq. 22})$$

La resistència tèrmica es defineix per:

$$R = \frac{\Delta x}{k \cdot A} \quad (\text{Eq. 23})$$

Relacionant l'equació 22 i 23 es presenta la següent expressió:

$$\Delta T = I \cdot R \quad (\text{Eq. 24})$$

La llei de la convecció es defineix com el transport d'energia tèrmica que es verifica simultàniament amb el transport del propi medi.

Aquesta sorgeix quan un fluid es calenta per la part posterior. Quan s'escalfa, s'expandeix elevant-se mentre que el fluid més fred s'enfonsa (passa a la part posterior). Aproximadament, la calor transmesa per convecció des d'un cos als seus voltants es proporcional a l'àrea del cos i a la diferència de temperatura entre el cos i el fluid en el que es troben immersos.

La descripció matemàtica, mostrada a l'equació 24, de la convecció és molt complexa, ja que el flux depèn de la diferència de temperatura existent en les diferents parts del fluid i aquesta diferència de temperatura ve afectada pel propi flux.

$$\frac{dQ}{dt} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_{inf}) \quad (\text{Eq. 25})$$

- $h$ : el coeficient de convecció [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]
- $A_s$ : àrea del cos en contacte amb el fluid [ $\text{m}^2$ ]
- $T_s$ : temperatura en la superfícies del cos [ $\text{K}$ ]
- $T_{inf}$ : temperatura del fluid lluny del cos. [ $\text{K}$ ]

Finalment, s'ha tingut en compte la llei de la transmissió de l'energia tèrmica, per calcular la quantitat de calor que es guanya o es perd, quan una massa d'una substància es sotmesa a un procés de transferència de calor. Aquesta es representa per l'equació 26 (aplicada a increments de temperatura variant en el temps):

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (\text{Eq. 26})$$

Dades:

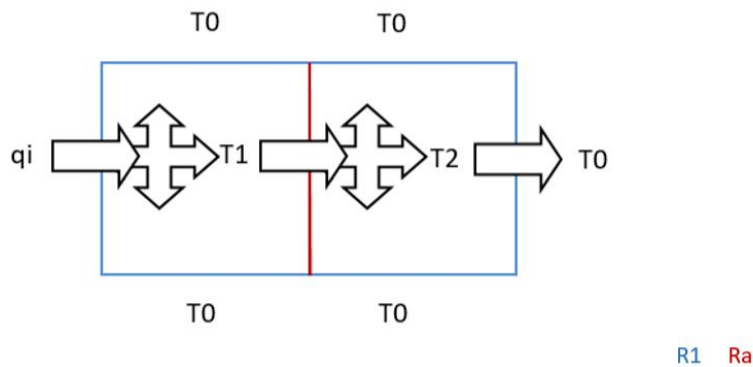
Energia= Q [J]

Massa= m [kg]

Calor específic = Cp [J·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>]

Diferencia de temperatura= ΔT [K]

A continuació es mostra, en mode simple i pensant en les equacions d'estat que més endavant seran claus per fer el model PID, l'esquema de la transmissió de calor entre dues regions bidimensionals amb una entrada de calor constant (qi).



**Figura 92.** Esquema transmissió calor entre dues regions (Font: pròpia)

En la figura 92, la R1 i Ra són les resistències tèrmiques corresponents a la part més externa i interior del recinte.

La q<sub>i</sub> es la potència entrant del sistema, T1 i T2 són dos punts de temperatura interiors de l'habitació i T0 la temperatura exterior.

Les equacions representatives d'aquest procés són les següents:

$$q_i - \frac{T_1 - T_2}{R_a} - \frac{T_1 - T_0}{R_1} - \frac{T_1 - T_0}{R_a} = m \cdot C_p \cdot \frac{dT_1}{dt};$$

$$\dot{T}_1 = \frac{1}{m \cdot C_p} \cdot q_i - \left( \frac{2}{R_a} + \frac{1}{R_1} \right) \cdot \frac{T_1}{m \cdot C_p} + \left( \frac{1}{R_a} \right) \cdot \frac{T_2}{m \cdot C_p} + \left( \frac{2}{R_1} \right) \cdot \frac{T_0}{m \cdot C_p} \quad (\text{Eq. 27})$$





A continuació es detallen les formules que formaran part de la matriu d'estat:

$$qi - \frac{T1-T2}{Ra} - \frac{T1-T3}{Ra} - \frac{T1-T5}{Ra} - \frac{T1-T0}{R1} - \frac{T1-T0}{R1} = m \cdot Cp \cdot \frac{dT1}{dt};$$

$$\dot{T}_1 = \frac{1}{m \cdot Cp} \cdot qi - \left( \frac{3}{Ra} + \frac{2}{R1} \right) \cdot \frac{T1}{m \cdot Cp} + \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T2}{m \cdot Cp} + \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T3}{m \cdot Cp} + \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T5}{m \cdot Cp} + \left( \frac{2}{R1} \right) \cdot \frac{T0}{m \cdot Cp} \quad (\text{Eq. 28})$$

$$qi - \frac{T2-T1}{Ra} - \frac{T2-T4}{Ra} - \frac{T2-T6}{Ra} - \frac{T2-T0}{R1} - \frac{T2-T0}{R1} = m \cdot Cp \cdot \frac{dT2}{dt};$$

$$\dot{T}_2 = \frac{1}{m \cdot Cp} \cdot qi - \left( \frac{3}{Ra} + \frac{2}{R1} \right) \cdot \frac{T2}{m \cdot Cp} + \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T1}{m \cdot Cp} + \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T4}{m \cdot Cp} + \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T6}{m \cdot Cp} + \left( \frac{2}{R1} \right) \cdot \frac{T0}{m \cdot Cp} \quad (\text{Eq. 29})$$

$$qi - \frac{T3-T1}{Ra} - \frac{T3-T4}{Ra} - \frac{T3-T7}{Ra} - \frac{T3-T0}{R1} - \frac{T3-T0}{R1} = m \cdot Cp \cdot \frac{dT3}{dt};$$

$$\dot{T}_3 = \frac{1}{m \cdot Cp} \cdot qi - \left( \frac{3}{Ra} + \frac{2}{R1} \right) \cdot \frac{T3}{m \cdot Cp} + \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T1}{m \cdot Cp} + \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T4}{m \cdot Cp} + \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T7}{m \cdot Cp} + \left( \frac{2}{R1} \right) \cdot \frac{T0}{m \cdot Cp} \quad (\text{Eq. 30})$$

$$qi - \frac{T4-T2}{Ra} - \frac{T4-T3}{Ra} - \frac{T4-T8}{Ra} - \frac{T4-T0}{R1} - \frac{T4-T0}{R1} = m \cdot Cp \cdot \frac{dT4}{dt};$$

$$\dot{T}_4 = \frac{1}{m \cdot Cp} \cdot qi - \left( \frac{3}{Ra} + \frac{2}{R1} \right) \cdot \frac{T4}{m \cdot Cp} + \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T2}{m \cdot Cp} + \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T3}{m \cdot Cp} + \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T8}{m \cdot Cp} + \left( \frac{2}{R1} \right) \cdot \frac{T0}{m \cdot Cp} \quad (\text{Eq. 31})$$

$$\frac{T1-T5}{Ra} - \frac{T5-T6}{Ra} - \frac{T5-T7}{Ra} - \frac{T5-T9}{Ra} - \frac{T5-T0}{R1} - \frac{T5-T0}{R1} = m \cdot Cp \cdot \frac{dT5}{dt};$$

$$\dot{T}_5 = \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T1}{m \cdot Cp} - \left( \frac{4}{Ra} + \frac{2}{R1} \right) \cdot \frac{T5}{m \cdot Cp} + \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T6}{m \cdot Cp} + \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T7}{m \cdot Cp} + \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T9}{m \cdot Cp} + \left( \frac{2}{R1} \right) \cdot \frac{T0}{m \cdot Cp} \quad (\text{Eq. 32})$$

$$\frac{T2-T6}{Ra} - \frac{T6-T5}{Ra} - \frac{T6-T8}{Ra} - \frac{T6-T10}{Ra} - \frac{T6-T0}{R1} - \frac{T6-T0}{R1} = m \cdot Cp \cdot \frac{dT6}{dt};$$

$$\dot{T}_6 = \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T2}{m \cdot Cp} - \left( \frac{4}{Ra} + \frac{2}{R1} \right) \cdot \frac{T6}{m \cdot Cp} + \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T5}{m \cdot Cp} + \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T8}{m \cdot Cp} + \left( \frac{1}{Ra} \right) \cdot \frac{T10}{m \cdot Cp} + \left( \frac{2}{R1} \right) \cdot \frac{T0}{m \cdot Cp} \quad (\text{Eq. 33})$$

$$\frac{T3-T7}{Ra} - \frac{T7-T5}{Ra} - \frac{T7-T8}{Ra} - \frac{T7-T11}{Ra} - \frac{T7-T0}{R1} - \frac{T7-T0}{R1} = m \cdot Cp \cdot \frac{dT7}{dt};$$

$$\dot{T}_7 = \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T3}{m \cdot Cp} - \left(\frac{4}{Ra} + \frac{2}{R1}\right) \cdot \frac{T7}{m \cdot Cp} + \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T5}{m \cdot Cp} + \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T8}{m \cdot Cp} + \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T11}{m \cdot Cp} + \left(\frac{2}{R1}\right) \cdot \frac{T0}{m \cdot Cp} \quad (\text{Eq. 34})$$

$$\frac{T4-T8}{Ra} - \frac{T8-T6}{Ra} - \frac{T8-T7}{Ra} - \frac{T8-T12}{Ra} - \frac{T8-T0}{R1} - \frac{T8-T0}{R1} = m \cdot Cp \cdot \frac{dT8}{dt};$$

$$\dot{T}_8 = \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T4}{m \cdot Cp} - \left(\frac{4}{Ra} + \frac{2}{R1}\right) \cdot \frac{T8}{m \cdot Cp} + \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T6}{m \cdot Cp} + \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T7}{m \cdot Cp} + \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T12}{m \cdot Cp} + \left(\frac{2}{R1}\right) \cdot \frac{T0}{m \cdot Cp} \quad (\text{Eq. 35})$$

$$\frac{T5-T9}{Ra} - \frac{T9-T10}{Ra} - \frac{T9-T11}{Ra} - \frac{T9-T0}{R1} - \frac{T9-T0}{R1} - \frac{T9-T0}{R1g} = m \cdot Cp \cdot \frac{dT9}{dt};$$

$$\dot{T}_9 = \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T5}{m \cdot Cp} - \left(\frac{3}{Ra} + \frac{2}{R1} + \frac{1}{R1g}\right) \cdot \frac{T9}{m \cdot Cp} + \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T10}{m \cdot Cp} + \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T11}{m \cdot Cp} + \left(\frac{2}{R1} + \frac{1}{R1g}\right) \cdot \frac{T0}{m \cdot Cp} \quad (\text{Eq. 36})$$

$$\frac{T6-T10}{Ra} - \frac{T10-T9}{Ra} - \frac{T10-T12}{Ra} - \frac{T10-T0}{R1} - \frac{T10-T0}{R1} - \frac{T10-T0}{R1g} = m \cdot Cp \cdot \frac{dT10}{dt};$$

$$\dot{T}_{10} = \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T6}{m \cdot Cp} + \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T9}{m \cdot Cp} - \left(\frac{3}{Ra} + \frac{2}{R1} + \frac{1}{R1g}\right) \cdot \frac{T10}{m \cdot Cp} + \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T12}{m \cdot Cp} + \left(\frac{2}{R1} + \frac{1}{R1g}\right) \cdot \frac{T0}{m \cdot Cp} \quad (\text{Eq. 37})$$

$$\frac{T7-T11}{Ra} - \frac{T11-T9}{Ra} - \frac{T11-T12}{Ra} - \frac{T11-T0}{R1} - \frac{T11-T0}{R1} - \frac{T11-T0}{R1g} = m \cdot Cp \cdot \frac{dT11}{dt};$$

$$\dot{T}_{11} = \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T7}{m \cdot Cp} + \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T9}{m \cdot Cp} - \left(\frac{3}{Ra} + \frac{2}{R1} + \frac{1}{R1g}\right) \cdot \frac{T11}{m \cdot Cp} + \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T12}{m \cdot Cp} + \left(\frac{2}{R1} + \frac{1}{R1g}\right) \cdot \frac{T0}{m \cdot Cp} \quad (\text{Eq. 38})$$

$$\frac{T8-T12}{Ra} - \frac{T12-T10}{Ra} - \frac{T12-T11}{Ra} - \frac{T12-T0}{R1} - \frac{T12-T0}{R1} - \frac{T12-T0}{R1g} = m \cdot Cp \cdot \frac{dT12}{dt};$$

$$\dot{T}_{12} = \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T8}{m \cdot Cp} + \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T10}{m \cdot Cp} + \left(\frac{1}{Ra}\right) \cdot \frac{T11}{m \cdot Cp} - \left(\frac{3}{Ra} + \frac{2}{R1} + \frac{1}{R1g}\right) \cdot \frac{T12}{m \cdot Cp} + \left(\frac{2}{R1} + \frac{1}{R1g}\right) \cdot \frac{T0}{m \cdot Cp} \quad (\text{Eq. 39})$$

Com es pot observar, les quatre primeres temperatures tenen com a entrada la  $q_i$ , ja que el sistema de calefacció seria la geotèrmica (bomba de calor). Pel que fa a les resistències tèrmiques, la  $R_a$  representa la interior, la  $R_1$  la de les parets més externes i la  $R_{1g}$  la de la teulada, ja que la transmissió de calor al sostre és molt menys permissiva que la de les 4 parets.

Tot seguit es procedeix a introduir les fórmules extretes en matrius per obtenir les equacions d'estat, les quals tenen la forma següent:

- A= Matriu d'estat
- B= Matriu d'entrada
- C= Matriu de sortida
- D= Matriu de transmissió directa

$$\dot{X} = \frac{1}{m \cdot Cp} \cdot A \cdot u(t) + \frac{1}{m \cdot Cp} \cdot B \cdot y(t); \quad (\text{Eq. 40})$$

$$\begin{bmatrix} \dot{T}_1 \\ \dot{T}_2 \\ \dot{T}_3 \\ \dot{T}_4 \\ \dot{T}_5 \\ \dot{T}_6 \\ \dot{T}_7 \\ \dot{T}_8 \\ \dot{T}_9 \\ \dot{T}_{10} \\ \dot{T}_{11} \\ \dot{T}_{12} \end{bmatrix} = \frac{1}{m \cdot Cp} \cdot A \cdot \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \\ T_7 \\ T_8 \\ T_9 \\ T_{10} \\ T_{11} \\ T_{12} \end{bmatrix} + \frac{1}{m \cdot Cp} \cdot B \cdot \begin{bmatrix} q_i \\ T_0 \end{bmatrix}$$

$$Y = C \cdot u(t) + D \cdot y(t); \quad (\text{Eq. 41})$$

$$\begin{bmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \\ T4 \\ T5 \\ T6 \\ T7 \\ T8 \\ T9 \\ T10 \\ T11 \\ T12 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \\ T4 \\ T5 \\ T6 \\ T7 \\ T8 \\ T9 \\ T10 \\ T11 \\ T12 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} q_i \\ T_{0i} \end{bmatrix}$$

Assignant els valors corresponents a la matriu d'estat i d'entrada, quedaria:

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{3}{Ra} - \frac{2}{R1} & \frac{1}{Ra} & \frac{1}{Ra} & 0 & \frac{1}{Ra} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{Ra} & -\frac{3}{Ra} - \frac{2}{R1} & 0 & \frac{1}{Ra} & 0 & \frac{1}{Ra} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{Ra} & 0 & -\frac{3}{Ra} - \frac{2}{R1} & \frac{1}{Ra} & 0 & 0 & \frac{1}{Ra} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{Ra} & \frac{1}{Ra} & -\frac{3}{Ra} - \frac{2}{R1} & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{Ra} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{Ra} & 0 & 0 & 0 & -\frac{4}{Ra} - \frac{2}{R1} & \frac{1}{Ra} & \frac{1}{Ra} & 0 & \frac{1}{Ra} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{Ra} & 0 & 0 & \frac{1}{Ra} & -\frac{4}{Ra} - \frac{2}{R1} & 0 & \frac{1}{Ra} & 0 & \frac{1}{Ra} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{Ra} & 0 & \frac{1}{Ra} & 0 & -\frac{4}{Ra} - \frac{2}{R1} & \frac{1}{Ra} & 0 & 0 & \frac{1}{Ra} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{Ra} & 0 & \frac{1}{Ra} & \frac{1}{Ra} & -\frac{4}{Ra} - \frac{2}{R1} & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{Ra} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{Ra} & 0 & 0 & 0 & -\frac{3}{Ra} - \frac{2}{R1} - \frac{1}{R1g} & \frac{1}{Ra} & \frac{1}{Ra} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{Ra} & 0 & 0 & \frac{1}{Ra} & -\frac{3}{Ra} - \frac{2}{R1} - \frac{1}{R1g} & 0 & \frac{1}{Ra} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{Ra} & 0 & \frac{1}{Ra} & 0 & -\frac{3}{Ra} - \frac{2}{R1} - \frac{1}{R1g} & \frac{1}{Ra} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{Ra} & 0 & \frac{1}{Ra} & \frac{1}{Ra} & -\frac{3}{Ra} - \frac{2}{R1} - \frac{1}{R1g} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 & \frac{2}{R1} \\ 1 & \frac{2}{R1} \\ 1 & \frac{2}{R1} \\ 1 & \frac{2}{R1} \\ 0 & \frac{2}{R1} \\ 0 & \frac{2}{R1} \\ 0 & \frac{2}{R1} \\ 0 & \frac{2}{R1} \\ 0 & \frac{2}{R1} + \frac{1}{R1g} \\ 0 & \frac{2}{R1} + \frac{1}{R1g} \\ 0 & \frac{2}{R1} + \frac{1}{R1g} \\ 0 & \frac{2}{R1} + \frac{1}{R1g} \end{bmatrix}$$

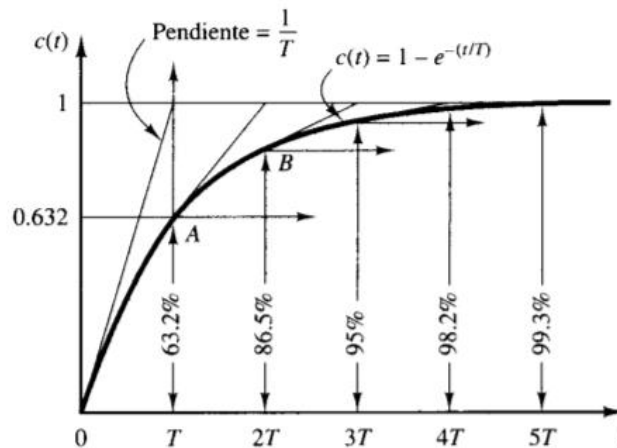
## 10.1. Simulació principal

A partir de la deducció de les matrius i completant les equacions d'estat, es procedeix a la utilització del programa Matlab i Simulink per dur a terme les simulacions de les dotze temperatures. Els valors s'han extret experimentalment.

Primer de tot cal recordar que el temps d'estabilització d'un sistema és el temps que necessita la corba de resposta per assolir la línia de 2% del valor final o quatre constants de temps:

$$t_s = 4T \quad (\text{Eq. 41})$$

La constant de temps T, és el temps que tarda el sistema en assolir el 63,2% del seu canvi total. En la figura 93 es mostra gràficament els valors comentats.



**Figura 94.** Resposta senyal (Font: <http://agarcia.fime.uanl.mx/materias/ingco/apclas/05%20-%20Respuesta%20en%20el%20Tiempo%20de%20un%20Sistema%20de%20Control.pdf>)

Seguidament es mostren les comandes en el Matlab per observar els pols que presenta i així deduir quin temps d'estabilització presenta el sistema.

```
%dades sistema
R1=5.0145e-2;
R1g=2*R1;
Ra=0.1e-2;
Cp=350;
m=48;
% matrius
A=1/m/Cp*[-2/R1-3/Ra 1/Ra 1/Ra 0 1/Ra 0 0 0 0 0 0;
1/Ra -2/R1-3/Ra 0 1/Ra 0 1/Ra 0 0 0 0 0;
1/Ra 0 -2/R1-3/Ra 1/Ra 0 0 1/Ra 0 0 0 0;
0 1/Ra 1/Ra -2/R1-3/Ra 0 0 0 1/Ra 0 0 0;
1/Ra 0 0 0 -2/R1-4/Ra 1/Ra 1/Ra 0 1/Ra 0 0;
0 1/Ra 0 0 1/Ra -2/R1-4/Ra 0 1/Ra 0 1/Ra 0;
0 0 1/Ra 0 1/Ra 0 -2/R1-4/Ra 1/Ra 0 0 1/Ra;
0 0 0 1/Ra 0 1/Ra 1/Ra -2/R1-4/Ra 0 0 1/Ra;
0 0 0 0 1/Ra 0 0 0 -2/R1-3/Ra-1/R1g 1/Ra 1/Ra 0;
0 0 0 0 1/Ra 0 0 1/Ra -2/R1-3/Ra-1/R1g 0 1/Ra;
0 0 0 0 0 1/Ra 0 1/Ra 0 -2/R1-3/Ra-1/R1g 1/Ra;
0 0 0 0 0 0 1/Ra 0 1/Ra 1/Ra -2/R1-3/Ra-1/R1g];
B=1/Cp/m*[1 2/R1; 1 2/R1; 1 2/R1; 1 2/R1; 0 2/R1; 0 2/R1; 0 2/R1; 0 2/R1;
0 2/R1+1/R1g; 0 2/R1+1/R1g; 0 2/R1+1/R1g; 0 2/R1+1/R1g];
C=eye(12,12);
D=zeros(12,2);

%pols del sistema
eig(A)
```

**Figura 95.** Comandes Matlab de les matrius d'estat i valors de les constants (Font: pròpia)

Els pols del sistema són els següents: -0,4191; -0,3003; -0,3001; -0,3001; -0,2407; -0,1812; -0,1812; -0,1810; -0,1216; -0,1216; -0,0622; -0,0026.

Com es pot apreciar, els pols són negatius, indicatiu que el sistema és estable.

A partir d'aquí es pot dir que el temps d'estabilització equival a:

$$t_s(2\%) = \frac{4}{\sigma} \quad (\text{Eq. 42})$$

Sent  $\sigma$  el pol més petit, el sistema s'estabilitzaria a uns 26 minuts:

$$t_s(2\%) = \frac{4}{0,0026} = 1.538,46 \text{ seg} \quad (\text{Eq. 43})$$

Per veure-ho gràficament, es presenta l'esquema en el Simulink amb les equacions d'estat i dues entrades:  $q_i$  (de 1000 W) i  $T_0$  (de 10 °C).

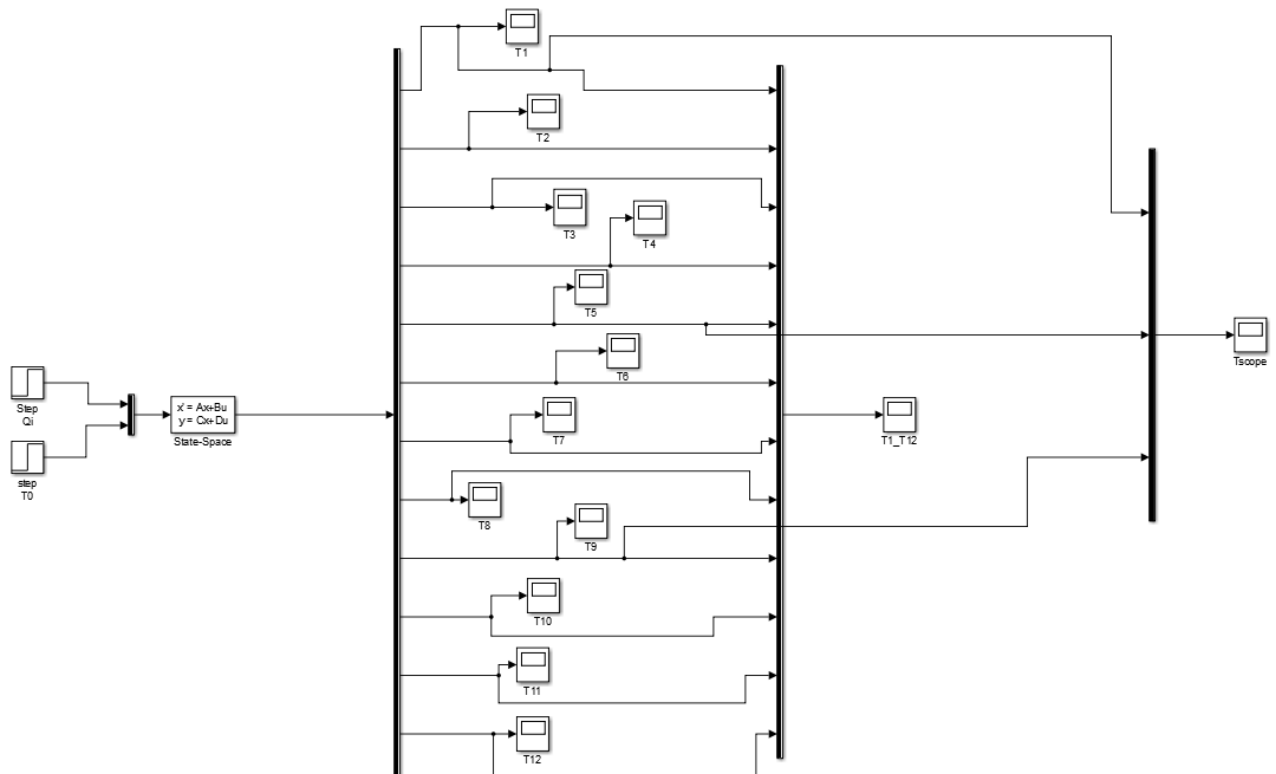
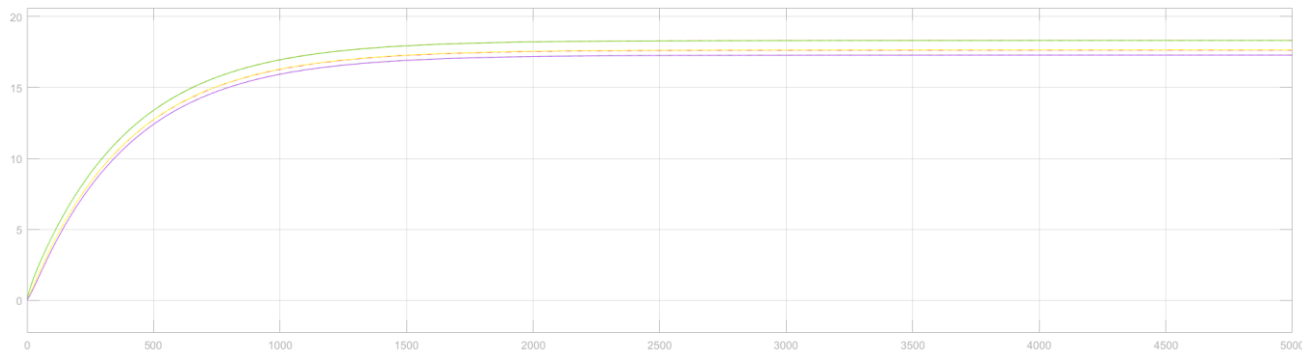


Figura 96. Esquema Simulink (Font: pròpia)

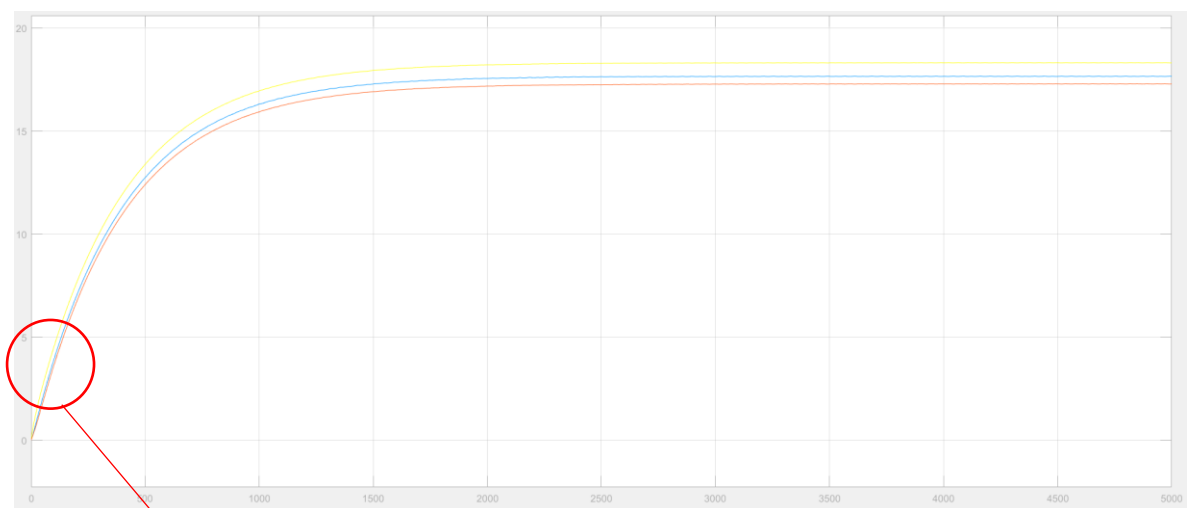


Com es pot observar a la figura 96, es mostren 3 temperatures, degut a que al ser un sistema homogeni, algunes temperatures tenen el mateix valor.

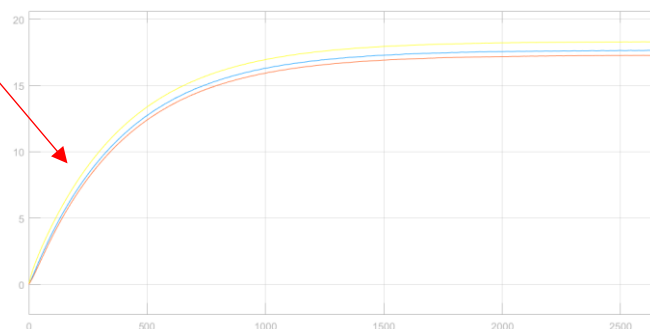
Per fer el control de temperatura, s'ha escollit la temperatura més baixa i desfavorable possible del sistema. Comparant amb les temperatures 1, 5 i 9, s'ha observat que la T5 compleix aquest criteri.



**Figura 97.** Resposta de les 12 temperatures en Simulink, T1\_ T12. Eix x: segons (seg). Eix y: graus (°C). (Font: pròpia)



**Figura 98.** Resposta TScope: T1, T5 i T9. Eix x: segons (seg). Eix y: graus (°C). (Font: pròpia)



**Figura 99.** Zoom de la figura 98 (Font: pròpia)

## 10.2. Simulació amb control PID

Com s'ha comentat en l'apartat anterior, s'aplicarà el control PID en la temperatura 5, ja que és una de les més desfavorables.

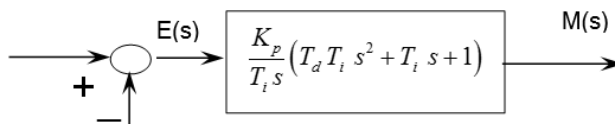
En primer lloc es farà una introducció del que consisteix un control PID: Acció proporcional, integral i derivativa. A continuació es mostra l'equació i un esquema de realimentació.

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{d e(t)}{dt} \quad (\text{Eq. 44})$$

Passat a domini de Laplace quedaria:

$$\begin{aligned} \frac{M(s)}{E(s)} &= K_p + \frac{K_i}{s} + K_d \cdot s = \frac{K_d \cdot s^2 + K_p \cdot s + K_i}{s} = K_i \left( \frac{\frac{K_d}{K_i} s^2 + \frac{K_p}{K_i} s + 1}{s} \right) \\ &= K_i \left( \frac{T_d \cdot T_i \cdot s^2 + T_i \cdot s + 1}{s} \right) = \frac{K_p}{T_i \cdot s} (T_d \cdot T_i \cdot s^2 + T_i \cdot s + 1) \end{aligned}$$

$$\frac{M(s)}{E(s)} = \frac{K_p}{T_i \cdot s} (T_d \cdot T_i \cdot s^2 + T_i \cdot s + 1) \quad (\text{Eq. 45})$$



**Figura 100.** Bloc control PID en un sistema de realimentació del senyal de sortida  $M(s)$  i l'error  $E(s)$  (Font: pròpia)

La constant  $K_p$ , disminueix l'error, però mai l'anul·la, sempre quedaria una diferència per assolir els 22 °C que es volen. Arran això es posa l'acció integral  $K_i$ , la qual dóna oscil·lacions però al mateix temps precisió al sistema. Finalment si la  $K_i$  és de valor elevat, pot tardar en establitzar-se el senyal i la constant derivativa  $K_d$ , faria que el sistema fos més ràpid.

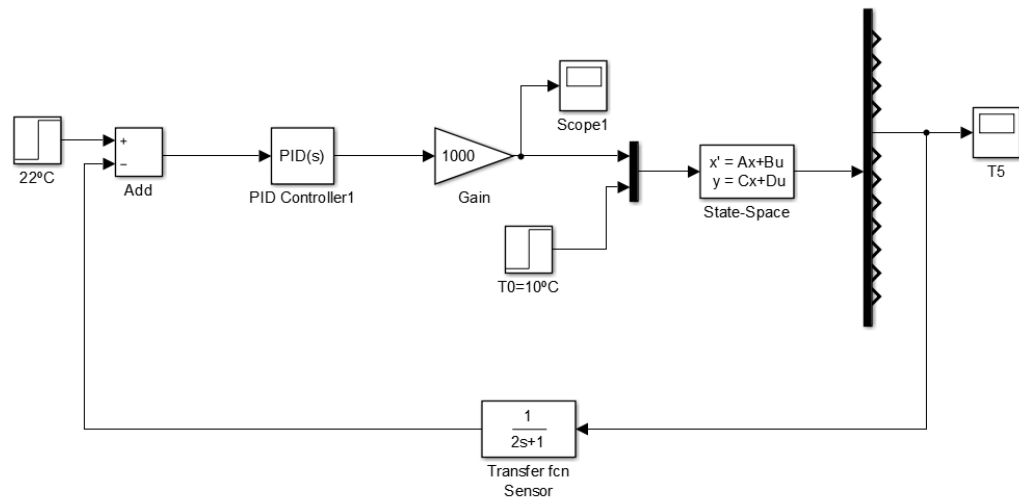
Els mètodes empírics per l'ajust dels paràmetres d'un regulador, són els que permeten establir les constants d'un regulador PID per que la resposta transitòria a un esgrao del sistema realimentat tingui una relació de decreixement de  $\frac{1}{4}$  (es a dir, que cada màxim de la resposta sigui una quarta part de l'anterior).

En aquest cas, s'ha utilitzat el primer mètode de Ziegler-Nichols: amb un regulador d'acció P, s'augmenta el guany  $K_p$  fins que el sistema oscil·li. S'anota el guany crític  $K_{p0}$  i el període de la oscil·lació  $T_0$ . A partir d'aquí s'ajusta  $K_p$ ,  $T_i$  i  $T_d$  segons s'indica a la taula 22.

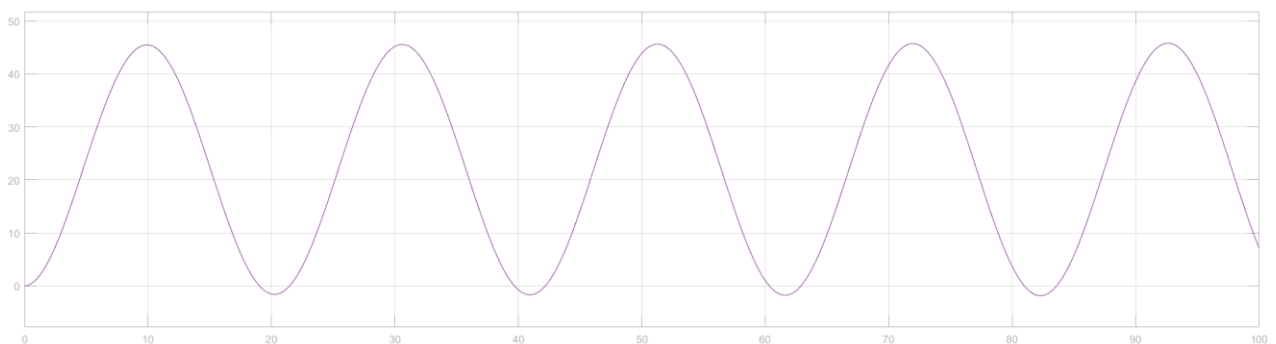
Per fer la realimentació s'ha col·locat un sensor, que cada dos segons faci una lectura de la sortida amb la funció de transferència que es mostra a continuació:

$$\frac{1}{2 \cdot s + 1}$$

(Eq. 46)



**Figura 101.** Esquema de realimentació amb Simulink (Font: pròpia)



**Figura 102.** Resposta temperatura 5 amb  $K_p=35,5$ . Eix x: segons (seg). Eix y: graus (°C). (Font: pròpia)

Com s'observa a la figura 103, el període d'oscil·lació  $T_o$  és de 20 segons.



**Figura 103.** Zoom de la figura 102 per visualitzar el període d'oscil·lació  $T_o$  (Font: pròpia)

REGULADOR	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0.5 \cdot K_{po}$	-	-
PI	$0.45 \cdot K_{po}$	$0.85 \cdot T_o$	-
PD	$0.8 \cdot K_{po}$	-	$T_o/8$
PID	$0.6 \cdot K_{po}$	$T_o/2$	$T_o/8$

**Taula 22.** Ajust dels paràmetres d'un regulador pel mètode de Ziegler-Nichols (Font: pròpia)

A partir d'aquí es calculen les constants  $K_p$ ,  $T_i$  i  $T_d$ :

$$K_p = 0,6 \cdot K_{po} = 0,6 \cdot 35,5 = 21,3 \quad (\text{Eq. 47})$$

$$T_i = \frac{T_o}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ seg}$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{21,3}{10} = 2,13 \quad (\text{Eq. 48})$$

$$T_d = \frac{T_o}{8} = \frac{20}{8} = 2,5$$

$$K_d = T_d \cdot T_i \cdot K_i = T_d \cdot K_p = 2,5 \cdot 21,3 = 53,25 \quad (\text{Eq. 49})$$

A continuació es mostra la simulació de la T5 aplicant el control PID.

Controller: PID Form: Parallel

Time domain:

☒ Continuous-time

☐ Discrete-time

Main PID Advanced Data Types State Attributes

Controller parameters

Source: internal [Compensator formul](#)

Proportional (P): 35.5\*.6

Integral (I): 2.13

Derivative (D): 2.5\*21.3

Filter coefficient (N): 100

Tune...

$$P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}}$$

Figura 104. Introducció de les dades PID en el Simulink (Font: pròpia)

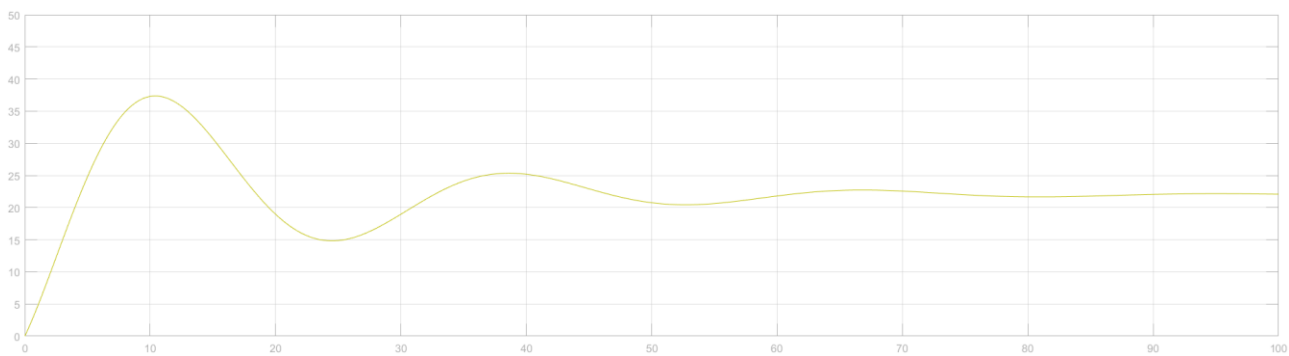


Figura 105. Resposta temperatura 5 amb el PID. Eix x: segons (seg). Eix y: graus (°C). (Font: pròpia)

En la figura 105, s'observa un sobre impuls del 50%, típic del Mètode Ziegler Nichols.

Per altra banda, s'ha volgut col·locar un microcontrolador amb mostreig de 0,02, però s'observa que no es del tot positiu pel sistema, ja que el sobre impuls incrementa considerablement.

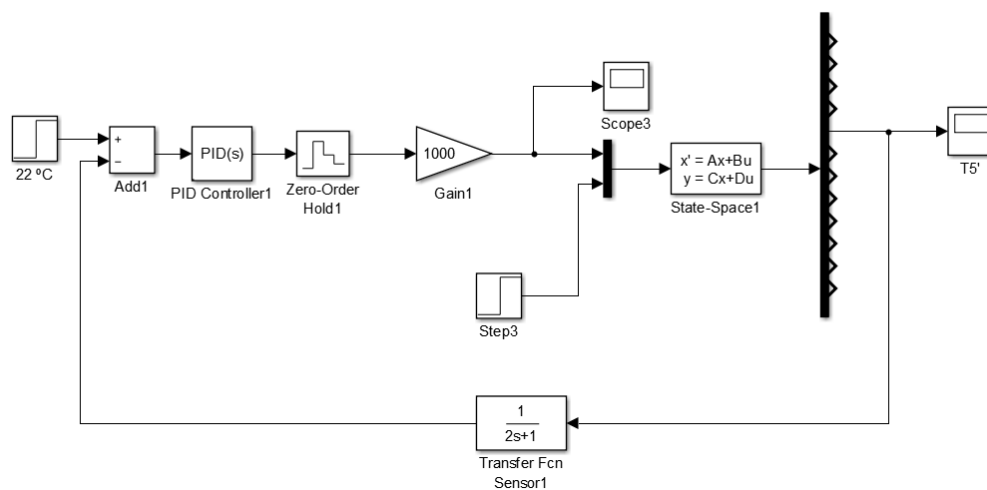
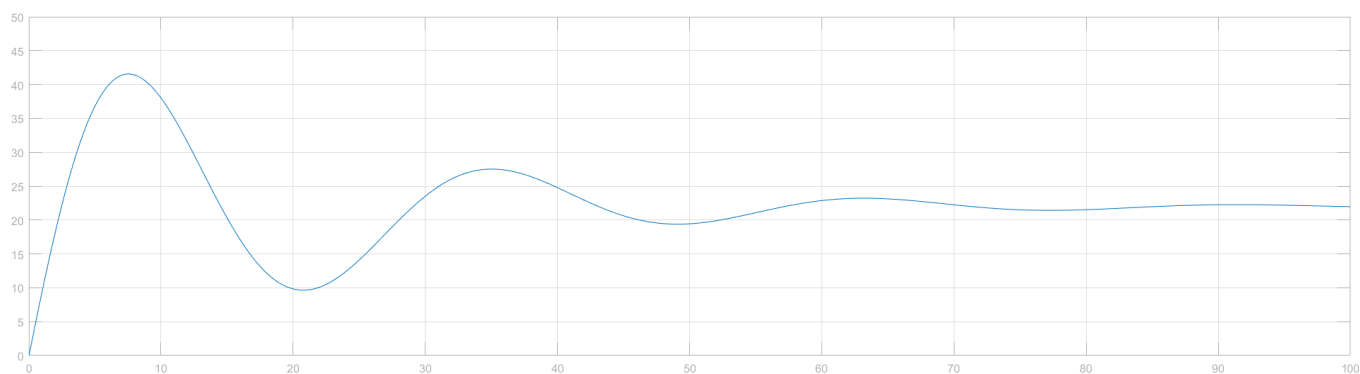
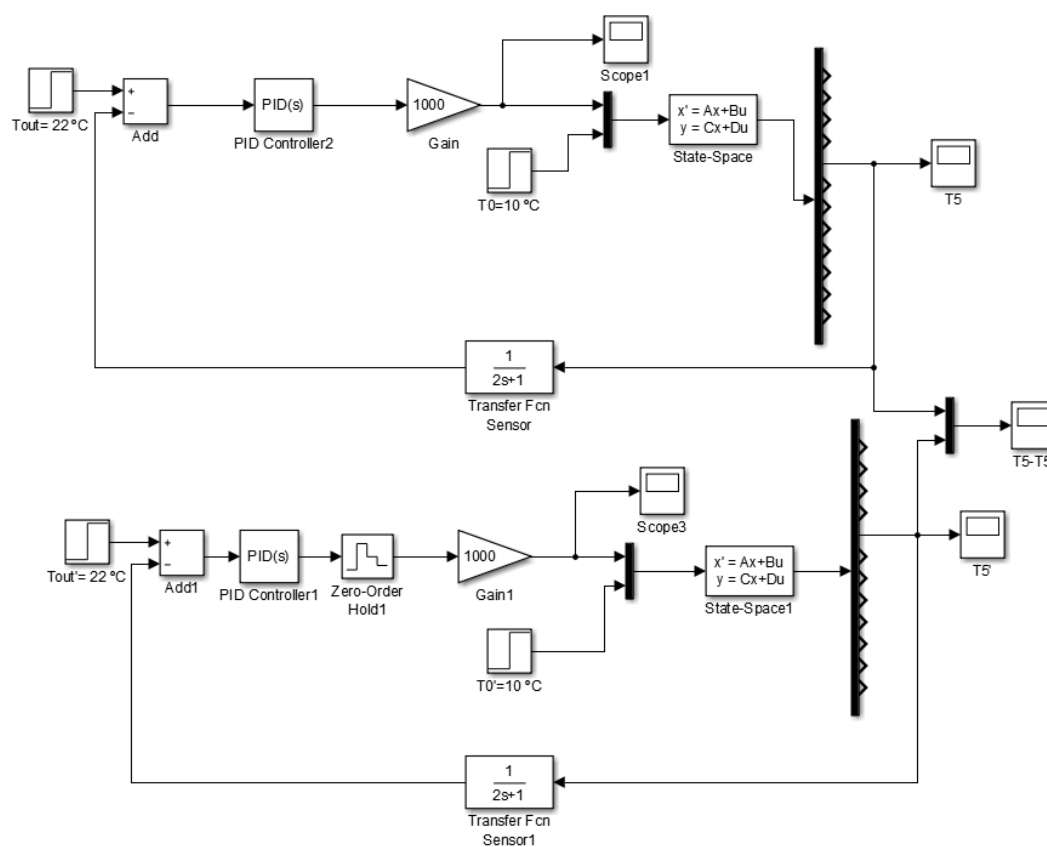


Figura 106. Esquema de realimentació amb etapa de mostreig (Font: pròpia)

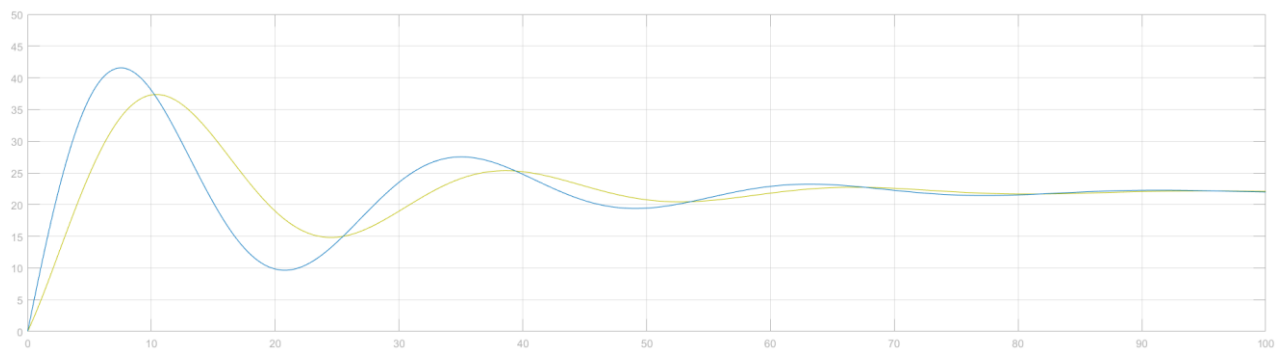


**Figura 107.** Resposta temperatura 5 amb el control PID i mostreig. Eix x: segons (seg). Eix y: graus (°C). (Font: pròpia)



**Figura 108.** Esquemes de realimentació amb i sense mostreig (Font: pròpia)

En la figura 109 s'observa els senyals comparats amb i sense l'etapa de mostreig.

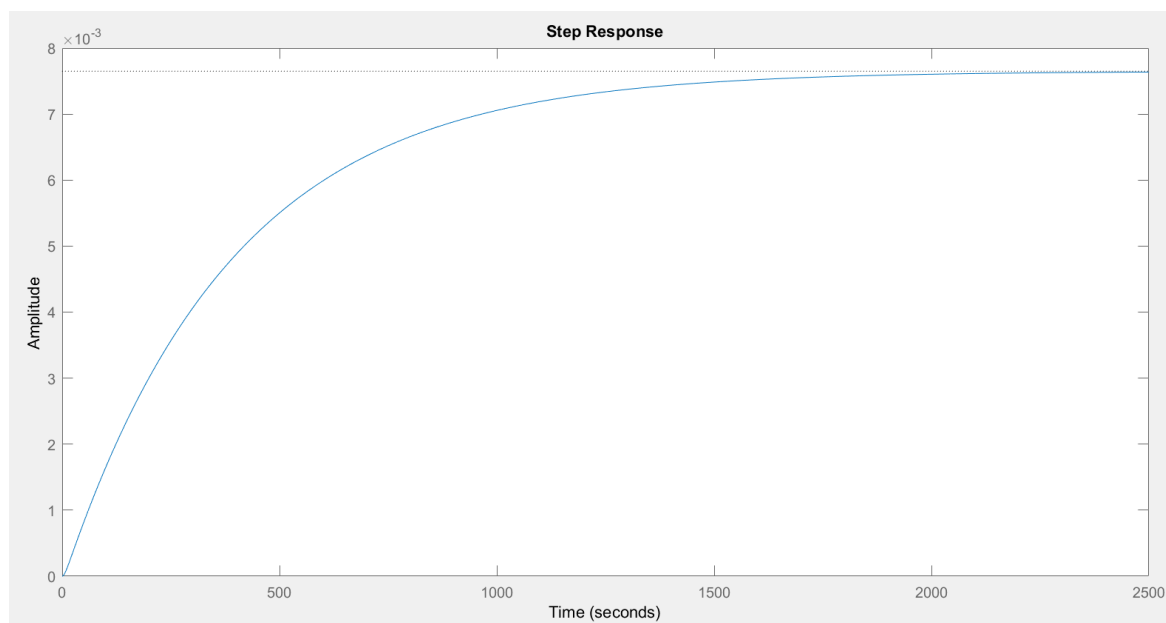


**Figura 109.** Comparació sortides T5 i T5'. Eix x: segons (seg). Eix y: graus (°C). (Font: pròpia)

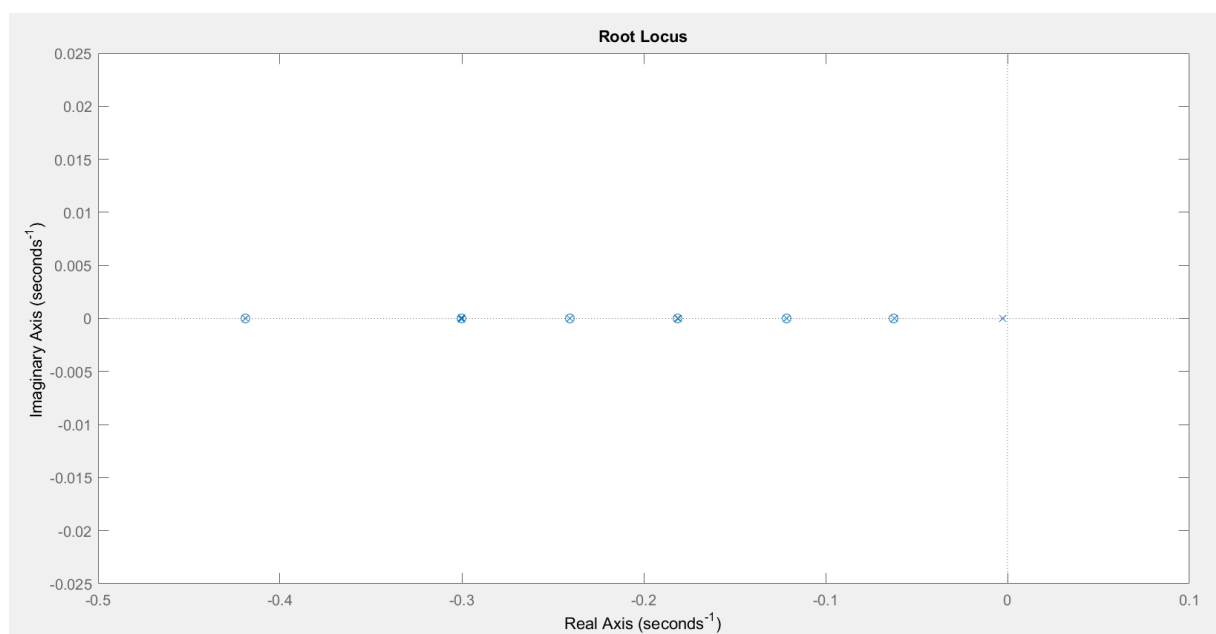
A continuació es fa l'estudi amb els pols del sistema i s'ha determinat que, mitjançant el mètode Ziegler-Nichols, al tractar-se d'un sistema de grau 12, es veuen molt junts els pols com es pot observar a la figura 111 i, per tant, es físicament impossible poder deduir les constants del PID a partir d'aquí.

```
% T5 com a senyal de sortida
C1=[0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0];
B1=B(:,1)
% passem del model d'estat a funció de transferència
[n,d]=ss2tf(A,B1,C1,[0])
disp('polos')
% es calculen les arrels del denominador
roots(d)
figure(1)
% resposta esgraó amb el model de funció de transferència
step(n,d)
% traçat del lgr
figure(2)
k=0:.001:10;
rlocus(n,d,k)
```

**Figura 110.** Comandes Matlab per obtenir la resposta esgraó i pols de la temperatura 5 (Font: pròpia)



**Figura 111.** Resposta esgraó de la funció de transferència de la T5. FIGURE 1. (Font: pròpia)



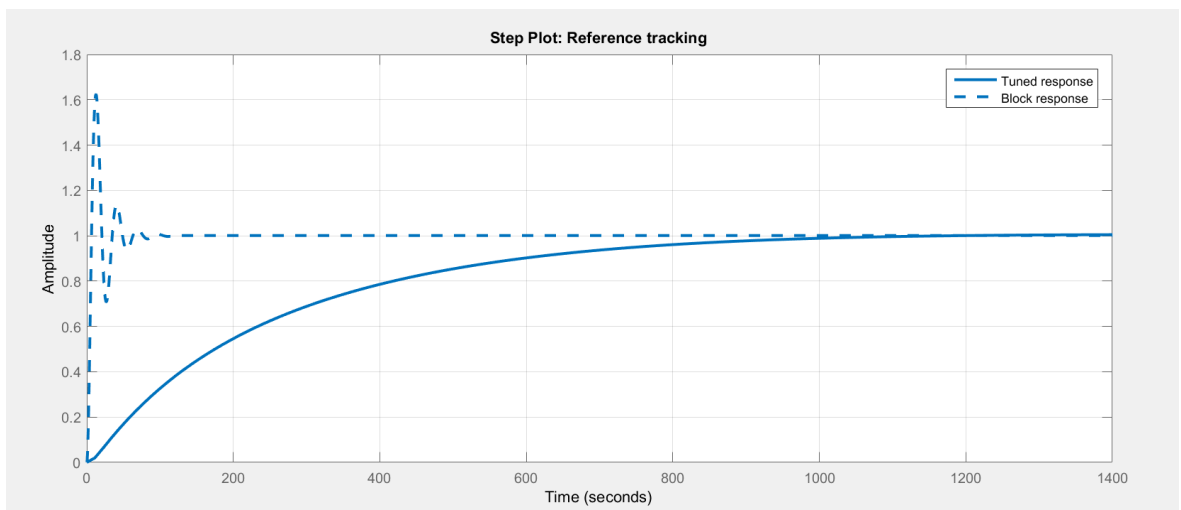
**Figura 112.** Resposta traçat del lgr. FIGURE 2. (Font: pròpia)

Per adequar el senyal com es vulgui s'ha optat per l'eina Tune proporcionada pel Simulink.

Aquest sintonitzador automàtic permet a l'usuari jugar amb el temps d'estabilització i robustesa del sistema. A continuació es mostra la simulació i l'actualització del PID que s'ha escollit.

El criteri que s'ha establert per obtenir el senyal de sortida desitjat ha sigut: absència d'oscil·lacions, que l'error sigui el mínim i que el sistema s'apropi al valor de consigna el més ràpid possible.





**Figura 113.** Resposta Tune automàtic. Escala d'amplitud 20:1. (Font: pròpia)

Finalment les dades agafades del PID es troben a la figura 114.

**PID Controller**  
This block implements continuous- and discrete-time PID control algorithms and includes advanced features such as anti-windup, external reset, and signal tracking. You can tune the PID gains automatically using the 'Tune...' button (requires Simulink Control Design).

Controller: **PID** Form: **Parallel**

Time domain:  
☒ Continuous-time  
☐ Discrete-time

Main PID Advanced Data Types State Attributes

Controller parameters

Source: **internal** [Compensator formula:](#)

Proportional (P): **0.187637661160102**

Integral (I): **0.000530353756560624**

Derivative (D): **5.26078064249458**

Filter coefficient (N): **0.006514192294342**

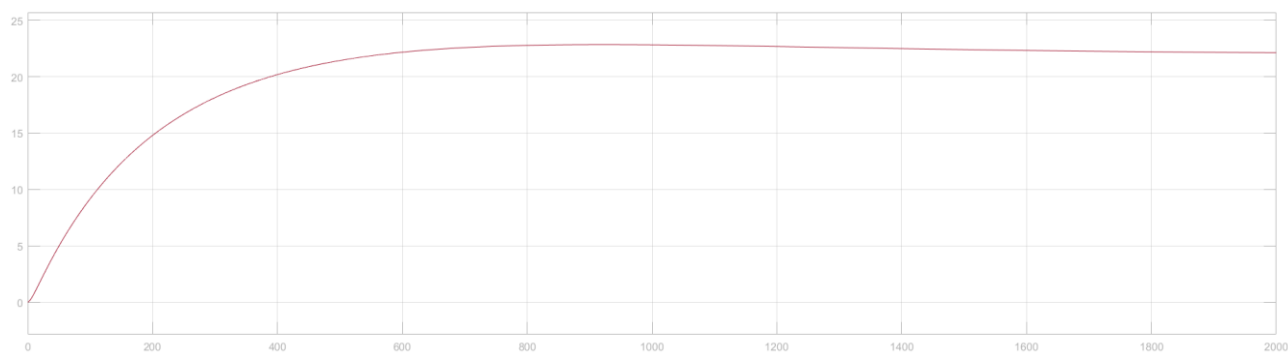
$$P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}}$$

**Figura 114.** PID actualitzat amb l'eina Tune (Font: pròpia)

El resultat desitjat i obtingut, mostrat a la figura 115, es regeix pel control PID amb els valors mostrats a la taula 23.

REGULADOR	Kp	Ki	Kd
PID	0,1876	0,00053	5,26

**Taula 23.** Valors definitius PID (Font: pròpia)



**Figura 115.** Resposta final de la temperatura 5 aplicant el PID proporcionat pel Tune. Eix x: segons (seg). Eix y: graus (°C).  
(Font: pròpia)

## Conclusions

A l'hora de valorar si s'han assolit els objectius establerts, es pot afirmar que el prototip de proves funciona amb un control absolut de tots els subsistemes. S'ha proporcionat a l'usuari una gran facilitat de control i comprensió de l'abast del prototip de proves: el sistema d'alarma, la calefacció, l'enllumenat i l'avís de portes i persianes obertes.

Pel que fa a la construcció de les plaques del circuit imprès hi ha hagut força problemes. Primerament, el transformador escollit en el disseny de la placa controladora no estava disponible i, per tant, el termini d'enviament comportava massa risc. Finalment, es va haver d'escollir un transformador de més potència, per a poder seguir amb el treball.

Des de la universitat, només es realitzava la insolació de les plaques de circuit imprès, d'aquesta manera tot el procés posterior s'ha fet manualment, invertint temps i diners, ja que comercialment és molt car que et fabriquin una placa. Tot i això, existeix la opció d'enviar-la a fer fora i encara que fos econòmic, el temps d'espera seria elevat per un projecte, si es té en compte que poden haver inconvenients.

La manca d'informació per part de les empreses fabricants de components, sigui els del *hardware* de la placa del prototip de proves com del comercial, ha provocat una cerca més costosa d'aquests. Per part del de proves, ha fet que alguns error fossin difícils de solucionar i en el cas de la comercial, els sensors i actuadors no s'han pogut escollir de més adequats i econòmics per la casa.

L'aplicació *Bluetooth* implementada a la placa de proves, es podria haver millorat i estat més òptima, si s'hagués tingut més temps per investigar.

Pel que fa al control PID de temperatura, s'ha arribat al resultat esperat. En un principi es va utilitzar el mètode de Ziegler-Nichols per mostrar la resposta del sistema en un cas on el sobre impuls fos present. Per altra banda es va voler arribar al mateix punt mitjançant els pols, però al ser d'ordre dotze la funció de transferència es mostraven massa junts i, per tant, era físicament impossible resoldre l'objectiu a partir d'aquí. Finalment es va optar per l'eina Tune del Simulink, la qual va resoldre definitivament l'estabilització de la temperatura escollida (T5) a la de consigna de 22°C.

De tots els objectius marcats, aquest projecte ha deixat reflectit que un sistema domòtic es possible i ens encara cap un futur més sostenible sempre en el camí del desenvolupament de l'electrònica automàtica.

## Millors de disseny

En primer lloc, es podria haver instal·lar un mòdul *Wi-Fi* en el prototip comercial, per poder connectar el control de la casa a través del mòbil a molta distància. Gràcies a això es podrien manipular els actuadors i sensors, estalviant així tot el procés de cablejat. Com a inconvenient, es una opció menys segura, ja que és una xarxa que es pot *hackejar*.

Per part de les energies renovables, es podria haver fet ús de la eòlica i així tenir una aportació extra d'electricitat, però al ser tan variant, hauria sigut menys segur d'instal·lar en una casa.

Una alternativa comú hauria sigut l'ús d'energies no renovables, és a dir, estar connectat a la xarxa de distribució elèctrica d'avui dia a tot arreu. En aquest cas, no s'ha adoptat ja que avui dia, l'impacte mediambiental de cada procés es troba en el punt de mira i s'ha considerat que com més sostenible sigui la instal·lació, més agreujada serà la contaminació.

Per acabar, es podria haver prescindit d'un cotxe elèctric, reduint així el dimensionat de la instal·lació fotovoltaica, ja que el cotxe es recarrega dins del garatge.

## Normativa

Avui en dia existeix un marc legal considerable que regula les característiques que han de seguir les instal·lacions domòtiques. A continuació s'enumeren i expliquen breument aquestes normes i regulacions esmentades:

- El **Reglamento Electrotécnico de BajaTensión**, a través de la seva **Instrucción Técnica ITC-BT-51** regula i defineix una sèrie d'aspectes com són: l'àmbit d'aplicació, la terminologia que s'ha utilitzat, les tipologies dels sistemes, els requisits generals de les instal·lacions i les condicions particulars que s'han d'acomplir.
- El **Reglament de Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones**(RD 401/2003), per la seva banda, pretén que les xarxes que s'instal·lin en l'interior dels edificis siguin una prolongació de les xarxes dels operadors de telecomunicacions i estableix que les xarxes facilitin als usuaris l'accés als diferents serveis de telecomunicacions disponibles.
- L'entitat **AENOR (Asociación Española de Certificación y Normalización)** és responsable de la preparació de les normes UNE a Espanya. Aquesta associació edita un conjunt de normes sobre les instal·lacions domòtiques que estableixen els requisits mínims que han d'acomplir els sistemes domòtics per al seu correcte funcionament i per l'avaluació de l'aptitud dels habitatges on s'instal·len.
- El **Código Técnico de la Edificación(CTE)** és el marc normatiu que estableix les exigències que han d'acomplir els edificis en relació amb els requisits bàsics de seguretat i habitabilitat establerts per la *Ley 33/1999 de Ordenación de la Edificación*. El CTE pretén donar resposta a la demanda de la societat en quant a la millora de la qualitat de l'edificació, millorant la protecció de l'usuari i fomentant el desenvolupament sostenible.
- Així mateix, el **Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios** estableix les condicions que han d'acomplir les instal·lacions destinades a atendre la demanda de benestar tèrmic i d'higiene a través de les instal·lacions de calefacció, climatització i aigua calenta sanitària, amb l'objectiu d'aconseguir un ús eficient de l'energia.
- Les **normes UNE**, que s'han d'acomplir de forma obligatòria segons el **Real Decret 444/1994**, estableixen uns nivells de radiació per tal d'evitar els riscos que es poden derivar de l'exposició a les ones de radiofreqüència, ja que es comporten com una antena, degut a les ones electromagnètiques que radien.
- Pel que fa a les comunicacions sense fils, existeixen diversos estàndards i regulacions de seguretat d'exposició a radiacions, que limiten la potència d'emissió dels dispositius transmissors, com són les regulacions dels instituts **IEEE/ANSI i IC-NIRP**.

## Planificació i Diagrama de Gantt

Tot seguit es mostra el diagrama de Gantt, el qual reflecteix el temps en dies naturals, del treball fet per a la confecció d'aquest projecte.

Tasques	Data d'inici	Data de finalització	Duració (dies)
Estudi de viabilitat	08/01/2017	21/01/2017	13
Disseny del hardware i del software	26/01/2017	11/04/2017	75
Muntatge del hardware	11/04/2017	18/04/2017	7
Depuració del software	18/04/2017	10/05/2017	22
Proves funcionals	10/05/2017	20/05/2017	10
Confecció de la documentació	06/04/2017	01/06/2017	56
Preparació exposició	08/06/2017	20/06/2017	12

**Taula 24.** Diagrama de Gantt en format taula (Font: <https://es.smartsheet.com/blog/d%C3%B3nde-puede-encontrar-las-mejores-plantillas-del-diagrama-de-gantt>)

## Diagrama de Gantt



**Figura 116.** Diagrama de Gantt personalitzat (Font: <https://es.smartsheet.com/blog/d%C3%B3nde-puede-encontrar-las-mejores-plantillas-del-diagrama-de-gantt>)

## Bibliografia

La bibliografia s'ha dividit segons el tipus de referència. En aquest treball es troben del tipus: botigues físiques, llibres, webs, PDF's i programes.

### Botigues físiques

- Diotronic. A Muntaner 49, 08011 Barcelona. Disponible a <<http://www.diotronic.com/>>
- Onda Radio. A Gran Via de les corts catalanes 581, 08011 Barcelona. Disponible a <<http://www.ondaradio.es/>>

### Llibres

- [1] Laserna Larburu, Santos F. Edificios inteligentes y domótica: instalaciones automatizadas en viviendas y edificios. Bilbao: Logical Design, 1999.
- [2] García Breijo, Eduardo. Compilador C Ccs Y Simulador Proteus Para Microcontroladores Pic. Marcombo, S.A. (2ª ED), 2009.
- [3] Huidobro Moya, José Manuel y Millán Tejedor, Ramón Jesús: Manual de Domótica. Primera Edición. España: Creaciones Copyright, SL. 2010.
- [4] Junestrand, Stefan; Passaret, Xavier y VÁZQUEZ, Daniel: Domótica y Hogar Digital. Primera Edición. Madrid: Thomson Paraninfo. 2005.
- [5] Martín, Eva y Marcelo, Juan F. : La guía de bolsillo de la domótica. Primera edición. Madrid: Pearson Educación, SA. 2008.
- [6] Moro Vallina, Miguel: Instalaciones domóticas. Primera Edición. Madrid: Paraninfo SA. 2011.
- [7] Quinteiro González, José Mª, Lamas Graziani, Javier y Sandoval González, Juan D.: Sistemas de control para viviendas y edificios: Domótica. Segunda Edición. Madrid: Thomson Paraninfo. 2005.
- [8] Catàleg: Sistema Domótico KNX 2010/11: PB22122ES-07.10

## Web

[9] MathWorks. Makers of MATLAB and Simulink. [Consulta 13 de gener de 2017]. Disponible a <https://es.mathworks.com/>

[10] ALLDATASHEET. Datasheet search site for Electronic Components and Semiconductors another semiconductors.[Consulta 27 de gener de 2017]. Disponible a <https://www.alldatasheet.com/>

[11] RS Components | Componentes Electrónicos y Eléctricos. [Consulta 15 de gener de 2017]. Disponible a [\[12\] Tarifa luz hora. \[Consulta 2 de febrer de 2017\]. Disponible a <https://www.tarifaluzhora.es/>](https://es.rs-online.com/web/?cm_mmc=ES-PPC-_google-_0_ES_ES_Brand_RS_Pure_Exact-_RS&mkwid=s3hQASFTh_dc|pcrid|83571310203|pkw|rs|pmt|e|prd|&gclid=CjwKEAajw8OLGBRCKlJalqKHjQ0SJACP4BHzkX9LdoH4U_Ew_ETpWxb4UWKvej3eO70o8clfeA61RoC1Xfw_wcB/></a></p>
</div>
<div data-bbox=)

[13] Click Renovables. Geotermia: todo lo que necesitas saber antes de realizar una instalación. [Consulta 10 de febrer de 2017]. Disponible a <https://www.clickrenovables.com/blog/geotermia-todo-lo-que-necesitas-saber-antes-de-realizar-una-instalacion/>

[14] EcoHabitat. Climatización Geométrica. [Consulta 12 de febrer de 2017]. Disponible a <http://www.ecohabitat.org/climatizacion-geotermica/>

[15] Noticias de energia solar. Desarrollo sostenible.[Consulta 17 de febrer de 2017]. Disponible a <http://news.soliclima.com/noticias/ahorro-energetico/estudio-comparativo-de-soliclima-una-bomba-de-calor-nos-ahorra-1-362-euros-anuales/>

[16] Click Renovables. Cómo calcular una instalación solar fotovoltaica.[Consulta 18 de febrer de 2017]. Disponible a <http://www.clickrenovables.com/blog/como-calculer-una-instalacion-solar-fotovoltaica-en-5-pasos/>

[17] Todo lo que hay que saber sobre geometria si se plantea aprovecharla. [Consulta 24 de febrer de 2017]. Disponible a <http://geotermiaonline.com/todo-lo-que-hay-que-saber-sobre-geotermia-para-despejar-dudas/>

[18] ¿Cómo funciona la energía solar?.[Consulta 26 de febrer de 2017]. Disponible a <http://comofuncionaque.com/como-funciona-la-energia-solar/>



[19] Precio kWh electricidad. [Consulta 3 de març de 2017]. Disponible a <<http://comparadorluz.com/faq/precio-kwh-electricidad>>

[20] Tarifas gas luz. [Consulta 3 de març de 2017]. Disponible a <http://tarifasgasluz.com/>

[21] Sistema Bluetooth. [Consulta 30 de març de 2017]. Disponible a <http://electrotec.pe/blog/PICHC>

[22] Control de potencia amb TRIAC. [Consulta 15 de maig de 2017]. Disponible a <http://electgpl.blogspot.com.es/2012/02/control-de-potencia-con-triac.html>

[23] Transferencia energía térmica. [Consulta 05 de març de 2017]. <http://www.atmosferis.com/transferencia-de-energia-termica/>

[24] Resposta en el temps d'un sistema de control . [Consulta 08 de febrer de 2017]. <http://agarcia.fime.uanl.mx/materias/ingco/apclas/05%20%20Respuesta%20en%20el%20Tiempo%20de%20un%20Sistema%20de%20Control.pdf>

## PDF'S

[25] Pequeñas Instalaciones de Geotermia en el Sector Residencial. Navarra. [Consulta 4 de febrer de 2017]. Disponible a <[https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwjK0q-1uNHSAhWF14MKHU72AvEQFgggtMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.crana.org%2Fthemed%2Fcrana%2Ffiles%2Fdocs%2F051%2F090%2Fpequenas\\_instalaciones\\_geotermia\\_sector\\_residencial.pdf&usq=AFQjCNEV9CbF-crd\\_GclSig8vDp8XeWZwQ&sig2=eQgYCpqQ5IYSExh6cYPp7g&bvm=bv.149397726,d.d24&cad=rja](https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwjK0q-1uNHSAhWF14MKHU72AvEQFgggtMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.crana.org%2Fthemed%2Fcrana%2Ffiles%2Fdocs%2F051%2F090%2Fpequenas_instalaciones_geotermia_sector_residencial.pdf&usq=AFQjCNEV9CbF-crd_GclSig8vDp8XeWZwQ&sig2=eQgYCpqQ5IYSExh6cYPp7g&bvm=bv.149397726,d.d24&cad=rja)>

## Programes

AutoCAD. Versió 2014. Plataforma: Windows

Matlab. Versió 2015 Rb. Plataforma: Windows

Compilador CCS. Versió 2017. Plataforma: Windows

Proteus. Versió 8. Plataforma: Windows

Eagle. Versió 8. Plataforma: Windows